



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

Controles de mineralización en el sistema de vetas SN - (CU)

Santo Domingo - proyecto Santo Domingo - Puno

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Omar Alexander SÁNCHEZ CASTAÑEDA

ASESOR

César Orlando ORBEGOZO PERRET

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Sánchez, O. (2016). *Controles de mineralización en el sistema de vetas SN - (CU) Santo Domingo - proyecto Santo Domingo - Puno*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú. DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día Martes 15 del mes de Marzo del año 2016, siendo las 11:00 a.m., en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

MG. CIRO SERGIO BEDIA GUILLÉN

(Presidente de Jurado)

ING. MARITZA MERCEDES CANTORÍN VÍLCHEZ

(Miembro de Jurado)

MG. CARLOS DEL VALLE JURADO

(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colocación de la Tesis de Don OMAR ALEXANDER SÁNCHEZ CASTAÑEDA, Bachiller en Ingeniería Geológica quien sustentará la Tesis titulada: «CONTROLES DE MINERALIZACIÓN EN EL SISTEMA DE VETAS SN-(CU) SANTO DOMINGO – PROYECTO SANTO DOMINGO - PUNO», para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la colocación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

.....A satisfacción del Jurado.....

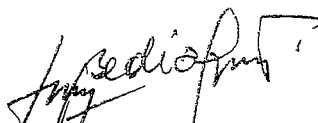
El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

.....Por unanimidad con la nota de diecisiete (17).....

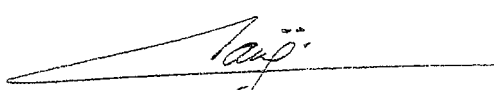
Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado examinador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Geólogo a Don OMAR ALEXANDER SÁNCHEZ CASTAÑEDA.

Siendo las 13:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Ciudad Universitaria, 15 de Marzo del 2016


MG. CIRO SERGIO BEDIA GUILLÉN
PRESIDENTE DE JURADO


ING. MARITZA MERCEDES CANTORÍN VÍLCHEZ
MIEMBRO DE JURADO


MG. CARLOS DEL VALLE JURADO
MIEMBRO DE JURADO

A mis padres Esther y Juan quienes se
esforzaron para que yo llegue a este
momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia porque siempre fue mi soporte durante mi etapa universitaria.

Al Ing. Orlando Orbegozo por su asesoramiento en la parte académica y presentación de Tesis.

Al Ing. Miroslav Kalinaj y todos mis compañeros de trabajo por sus orientaciones y apoyo recibido durante el desarrollo de la Tesis.

Contenido

Resumen	1
I. Introducción	2
1.1. Generalidades	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Estudios previos	3
II. Metodología de trabajo	4
2.1. Trabajo de gabinete 2013	4
2.2. Trabajo de campo 2014 – 2015	4
2.3. Trabajo de gabinete 2015 - 2016	5
III. Geografía	6
3.1. Ubicación	6
3.2. Accesibilidad	6
3.3. Geomorfología	8
3.4. Clima y meteorología	9
3.5. Propiedad superficial	11
IV. Geología regional	12
4.1. Litoestratigrafía regional	12
4.2. Magmatismo regional	15
4.3. Dominios geotectónicos	21
4.3.1. Dominio cordillera oriental	22
4.4. Geología estructural regional	24
4.4.1. Deformación eohercínica	24
4.4.2. Deformación tardihercínica	24
4.4.3. Deformación post-permiana	25

4.4.4.	Deformación andina	25
4.5.	Metalogenia	26
4.5.1.	Mina San Rafael (Sn)	33
4.5.2.	Proyecto Corani (Ag-Au)	35
V.	Geología local	37
5.1.	Litología	37
5.1.1.	Estratigrafía	37
5.1.1.1.	Formación Ananea	37
5.1.1.2.	Grupo Ambo	40
5.1.1.3.	Grupo Mitu	43
5.1.2.	Rocas ígneas	44
5.1.2.1.	Stock monzogranítico	45
5.1.2.2.	Diques y sills monzoníticos	46
5.1.2.3.	Diques lamprófidos	47
5.1.3.	Brechas	48
5.1.3.1.	Brecha jigsaw	48
5.1.3.2.	Brecha craquel	48
5.1.3.3.	Brecha intrusiva (de contacto)	49
5.1.3.4.	Brecha hidrotermal	50
5.2.	Mineralización	51
5.2.1.	Sistema Ccasahuallata	51
5.2.2.	Sistema Pucará	55
5.2.3.	Sistema Santo Domingo	58
5.2.4.	Sistema San Basilio	61
5.2.5.	Sistema Rita	63
5.3.	Contexto estructural local	65
5.3.1.	Lineamiento andino	65

5.3.2.	Lineamiento transandino.....	67
5.3.3.	Lineamiento oeste – este.....	68
5.3.4.	Lineamiento norte – sur	68
5.4.	Alteraciones hidrotermales.....	68
5.4.1.	Argilización.....	68
5.4.2.	Cloritización	69
5.4.3.	Silicificación	71
5.4.4.	Turmalinización.....	72
5.5.	Estudios microscópicos.....	73
5.5.1.	Petrografía	73
5.5.2.	Mineragrafía.....	80
5.5.3.	Microscopía electrónica de barrido	85
VI.	Geoquímica	88
6.1.	Geoquímica de superficie.....	88
6.1.1.	Geoquímica superficial del sistema Ccasahuallata.....	102
6.1.2.	Geoquímica superficial del sistema Pucará	106
6.1.3.	Geoquímica superficial del sistema Santo Domingo.....	110
6.1.4.	Geoquímica superficial del sistema San Basilio.....	114
6.1.5.	Geoquímica superficial del sistema Rita	118
6.2.	Geoquímica de sondajes diamantinos	121
VII.	Trabajos existentes	127
7.1.	Programa de perforación diamantina histórica.....	127
7.2.	Labores subterráneas	127
7.3.	Programa de perforación diamantina 2014 – 2015	128
VIII.	Controles de mineralización en el sistema Santo Domingo.....	131
8.1.	Control litológico – alteración	131
8.2.	Control mineralógico	132

8.3. Control estructural	133
IX. Modelo geológico	139
9.1. Secciones transversales	139
9.2. Interpretación geofísica	140
9.3. Modelo geológico del sistema Santo Domingo	140
Conclusiones	144
Recomendaciones	146
Referencias bibliográficas	147

Lista de cuadros

Cuadro 1: Ubicación UTM (WGS84) del punto central del proyecto Santo Domingo	6
Cuadro 2: Vías de acceso al proyecto Santo Domingo	6
Cuadro 3: Relación de principales cuerpos intrusivos, secuencias volcánicas y principales elementos anómalos en el SE del Perú.	20
Cuadro 4: Ubicación UTM (WGS84) y leyes de las muestras mineragráficas.....	81
Cuadro 5: Abreviaturas utilizadas en los análisis geoestadísticos.	89
Cuadro 6: Resultados geoquímicos de superficie del sistema Ccasahuallata ...	102
Cuadro 7: Resultados geoquímicos de subterráneo del sistema Ccasahuallata	102
Cuadro 8: Resultados geoquímicos de superficie del sistema Pucará.....	106
Cuadro 9: Resultados geoquímicos de subterráneo del sistema Pucará	106
Cuadro 10: Resultados geoquímicos de superficie del sistema Santo Domingo	110
Cuadro 11: Resultados geoquímicos de subterráneo del sistema Santo Domingo	110
Cuadro 12: Resultados geoquímicos de superficie en el sistema San Basilio ...	114
Cuadro 13: Resultados geoquímicos de subterráneo en el sistema San Basilio	114
Cuadro 14: Resultados geoquímicos de superficie en el sistema Rita.....	118
Cuadro 15: Sondajes diamantinos históricos	127
Cuadro 16: Resumen de las labores subterráneas	128
Cuadro 17: Resumen del programa exploratorio 2014-2015.	128

Lista de figuras

Figura 1: Diagrama de flujo con los trabajos realizados del 2013-2016	5
Figura 2: Ubicación y accesibilidad del proyecto Santo Domingo	7
Figura 3: Predios y quebradas ubicadas en el proyecto Santo Domingo	8
Figura 4: Plano geológico regional	14
Figura 5: Unidades litoestratigráficas regionales	15
Figura 6: Ratios de componentes de mena en depósitos de Japón, clasificados en términos de las series de magnetita e ilmenita	16
Figura 7: Distribución de los arcos magmáticos en el Perú	17
Figura 8: Naturaleza del magmatismo Cenozoico en el SE del Perú	18
Figura 9: Dataciones respecto a las provincias fisiográficas en el sur del Perú. ...	20
Figura 10: Mapa del Perú que representa los dominios geotectónicos	22
Figura 11: Tomografía sísmica de la sutura grenvilleana entre los paleocontinentes Arequipa y Amazonia	23
Figura 12: Principales características geológicas de los Andes Centrales	26
Figura 13: Ubicación de los yacimientos más importantes de estaño en Sudamérica	27
Figura 14: Episodios metalogenéticos de los Andes Centrales	30
Figura 15: Franja estannífera de los Andes Centrales	31
Figura 16: Mapa geológico con ubicación de minas, proyectos y prospectos.	32
Figura 17: Esquemas de la mineralización estannífera en San Rafael	33
Figura 18: Geología local del proyecto Santo Domingo	38
Figura 19: Columna estratigráfica local del proyecto Santo Domingo	39
Figura 20: Afloramiento de la formación Ananea	40
Figura 21: Afloramientos de la secuencia inferior del grupo Ambo	41
Figura 22: Afloramientos del nivel de toba de lapilli riódacítica	42
Figura 23: Afloramientos de la secuencia superior del grupo Ambo	43
Figura 24: Afloramientos del grupo Mitu	44
Figura 25: Vista panorámica desde la quebrada Antuyuta a los contactos litológicos	44
Figura 26: Stock monzogranítico porfirítico	45
Figura 27: Esquema geológico del proyecto Santo Domingo	46

Figura 28: Emplazamiento de cuerpos monzoníticos	47
Figura 29: Brecha jigsaw	48
Figura 30: Brecha craquel	49
Figura 31: Brecha de contacto	50
Figura 32: Brecha hidrotermal	50
Figura 33: Esquema geológico de los sistemas de vetas.....	52
Figura 34: Brecha intrusiva y su relación con el stock monzogranítico en la galería 655	53
Figura 35: Geología del sistema Ccasahuallata en la galería 655	54
Figura 36: Falla que limita a los sistemas Ccasahuallata y Pucará.....	56
Figura 37: Plano geológico interpretativo de las galerías 692 y 770 en el sistema Pucará	57
Figura 38: Veta de cuarzo-casiterita-sulfuros-calcita del sistema Pucará	58
Figura 39: Bocamina de la galería 816.....	59
Figura 40: Sectores en el sistema Santo Domingo	60
Figura 41: Venilla de cuarzo-clorita-casiterita-sulfuro-calcita del sistema Santo Domingo.....	61
Figura 42: Interpretación estructural de los sistemas Santo Domingo y San Basilio	62
Figura 43: Foto panorámica del sistema Rita	64
Figura 44: Cuarzo de exudación	65
Figura 45: Plano de interpretación de lineamientos estructurales	66
Figura 46: Falla transandina normal en dique monzonítico	67
Figura 47: Argilización selectiva de plagioclasas	69
Figura 48: Espectro de la muestra de roca PSD_163	69
Figura 49: Estilos de alteración clorítica	70
Figura 50: Espectro de la muestra 207424	71
Figura 51: Múltiples eventos de cristalización de venillas de cuarzo.....	71
Figura 52: Estilos de alteración en la turmalinización.....	72
Figura 53: Espectro de la muestra 205061	73
Figura 54: Ubicación de las muestras con estudios microscópicos.....	74
Figura 55: Muestra de mano PG-21	75
Figura 56: Muestra PG-21 al objetivo 2.5 en modo polarizadores cruzados	75
Figura 57: Muestra PG-21 al objetivo 10 en luz polarizada	76

Figura 58: Muestra de mano PG-03	77
Figura 59: Muestra PG-03 al objetivo 2.5 en modo polarizadores cruzados	77
Figura 60: Muestra PG-03 al objetivo 10 en luz polarizada	78
Figura 61: Muestra de mano PG-11	79
Figura 62: Muestra PG-11 al objetivo 2.5 en luz paralela.....	79
Figura 63: Muestra PG-11 al objetivo 10 en luz polarizada	80
Figura 64: Microfotografías de la muestra SD-2010-001	81
Figura 65: Muestra 872 al objetivo 10	82
Figura 66: Muestra 872 al objetivo 50	83
Figura 67: Muestra 207196 al objetivo 10	84
Figura 68: Muestra 207403 al objetivo 2.5	84
Figura 69: Muestra 207403 al objetivo 50	85
Figura 70: Microfotografía del estudio puntual por MEB-EDS	86
Figura 71: Microfotografías MIX y SSD de la muestra 207403.....	86
Figura 72: Secuencia paragenética	87
Figura 73: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del proyecto Santo Domingo.....	90
Figura 74: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del proyecto Santo Domingo.....	91
Figura 75: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas por sistema de vetas	92
Figura 76: Plano geoquímico superficial de estaño (%)	93
Figura 77: Plano geoquímico superficial de cobre (%)	94
Figura 78: Plano geoquímico superficial de zinc (%).....	95
Figura 79: Plano geoquímico superficial de plomo (%)	96
Figura 80: Plano geoquímico superficial de plata (g/T)	97
Figura 81: Plano geoquímico superficial de bismuto (ppm).....	98
Figura 82: Plano geoquímico superficial de indio (ppm).....	99
Figura 83: Plano geoquímico superficial de selenio (ppm).....	100
Figura 84: Plano geoquímico superficial de tungsteno (ppm)	101
Figura 85: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del sistema Ccasahuallata.....	103
Figura 86: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Ccasahuallata.....	104

Figura 87: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas en el sistema Ccasahuallata.....	105
Figura 88: Correlación multivariables de estructuras mineralizadas del sistema Pucará.....	107
Figura 89: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Pucará.....	108
Figura 90: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Pucará	109
Figura 91: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del sistema Santo Domingo.....	111
Figura 92: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Santo Domingo.....	112
Figura 93: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Santo Domingo.....	113
Figura 94: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del sistema San Basilio.....	115
Figura 95: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema San Basilio.....	116
Figura 96: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema San Basilio.....	117
Figura 97: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del sistema Rita	119
Figura 98: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Rita	120
Figura 99: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Rita	121
Figura 100: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas de sondajes diamantinos del sistema Santo Domingo	123
Figura 101: Gradientes verticales de sondajes diamantinos del sistema Santo Domingo.....	124
Figura 102: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas de sondajes diamantinos en el sistema Santo Domingo	125
Figura 103: Box plot logarítmicos por litología de sondajes diamantinos en el sistema Santo Domingo	126

Figura 104: Ubicación de sondajes diamantinos históricos y labores subterráneas	129
Figura 105: Ubicación de sondajes diamantinos 2014-2015	130
Figura 106: Contacto entre hornfels y monzogranito cloritizado	132
Figura 107: Brechas mineralizadas a distintas cotas en el sistema Santo Domingo	133
Figura 108: Mecanismo de formación de espacios abiertos a lo largo de un plano de falla normal y de rumbo sinistral.....	134
Figura 109: Rosetas de vetas, fallas y foliación en el sistema Santo Domingo..	135
Figura 110: Rosetas de vetas por sectores en el sistema Santo Domingo	136
Figura 111: Rosetas de fallas por sectores en el sistema Santo Domingo	137
Figura 112: Rosetas de foliación por sectores en el sistema Santo Domingo....	138
Figura 113: Modelo geológico 3D inicial del proyecto Santo Domingo.....	139
Figura 114: Amplitud de magnetización a cota 4300.....	141
Figura 115: Perfil geológico idealizado del sistema Santo Domingo	142
Figura 116: Sección longitudinal esquemática del sistema Santo Domingo	143

RESUMEN

El proyecto Santo Domingo se encuentra al sur del Perú, en el departamento de Puno. Se ubica al noreste de la cordillera oriental, a 24km de la mina de estaño San Rafael.

El proyecto Santo Domingo abarca un área aproximada de 1331Has, afloran rocas metamórficas, sedimentarias y volcanoclásticas del Paleozoico (Siluriano) hasta el Mesozoico (Triásico) que son intruidas por un stock porfirítico monzogranito.

La mineralización fue reconocida en 5 sistemas de vetas, llamadas de SW a NE, Ccasahuallata, Pucará, Santo Domingo, San Basilio, y Rita. La orientación de los sistemas es andino NW-SE con buzamientos al SW y NE.

El sistema de vetas Santo Domingo presenta una longitud de 3.2km con un ancho de hasta 500m y una extensión vertical reconocida de 900m.

Las estructuras mineralizadas presentan potencias que varían desde 0.20 a 0.40m. Las estructuras están controladas por fallamiento del tipo normal con un ligero componente sinistral.

En superficie el sistema Santo Domingo presenta anomalías geoquímicas de Cu+-Sn-Zn+-Pb-As, mientras que en subterráneo las anomalías geoquímicas son de Sn+-Cu.

La mineralización estannífera del sistema Santo Domingo está controlada por factores litológicos, mineralógicos y estructurales. Se estableció un modelo geológico con la interacción de los controles de mineralización tales como el cambio de buzamiento, intensa alteración hidrotermal (cloritización), y el cociente Sn/Cu.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El proyecto Santo Domingo es en la actualidad uno de los proyectos en cartera de la empresa minera Minsur S.A., empresa dedicada a la explotación, procesamiento y comercialización del estaño procedente de la mina San Rafael (Puno).

Como parte del equipo del área de exploraciones, participé en los trabajos exploratorios realizados desde el 2013 hasta la fecha. La información generada durante estos dos años de exploración ha sido utilizada para el desarrollo de la presente tesis.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Minsur S.A. requiere encontrar y estudiar nuevos yacimientos de estaño en la región sur del Perú debido a la reducción de la ley y reservas en la mina San Rafael. Uno de los yacimientos en estudio es el proyecto Santo Domingo el cual presenta características geológicas similares a la mina San Rafael, por lo cual se necesitan estudios de detalle e investigación para determinar la viabilidad del proyecto. Esta tesis busca aumentar la eficiencia de la exploración en el proyecto Santo Domingo mediante la definición de los controles de mineralización estannífera.

1.3. OBJETIVOS

- Determinar los controles de mineralización de casiterita en el sistema de vetas Santo Domingo.
- Establecer modelos geológicos en sección longitudinal y transversal del sistema de vetas Santo Domingo.
- Determinar posibles zonas de mineralización de casiterita en el sistema de vetas Santo Domingo.
- Proponer un esquema de investigación aplicable a todos los sistemas de vetas del proyecto Santo Domingo.

1.4. ESTUDIOS PREVIOS

Lampa Mining Co. (1960) comenzó el desarrollo de cuerpos mineralizados de alta ley de cobre en la mina San Rafael con una producción de 50TMD. Luego de reconocer similitudes geológicas y mineralógicas entre San Rafael y Santo Domingo compraron este último.

W.R. Grace Corporation (1966) desarrolló pequeños socavones en los sistemas de vetas Ccasahuallata y Pucará en busca de mineralización de cobre tipo San Rafael.

Minsur S.A. (1977) comenzó esporádicos programas de trabajos subterráneos en el proyecto Santo Domingo, desarrollando 4430m de galerías y 1420m de cortadas.

Clark et al. (1983) reconoció las estructuras mineralizadas en el proyecto Santo Domingo, colectó una muestra para datación radiométrica.

Clark et al. (1990) describe la mineralización asociada a plutones graníticos del Oligoceno superior, estableciendo un zonamiento lateral de Sn-Cu(-Ag) y Pb-Zn-Ag (-Cu, Sn) en el proyecto Santo Domingo.

López (1996) describe la geología del cuadrángulo de Nuñoa, en el cual realizó cartografiado geológico a escala 1:100,000.

Minsur S.A. (1998) perforó 6 sondajes diamantinos totalizando 1703.00m en los sistemas Ccasahuallata, Pucará y Santo Domingo. Un sondaje se perforó desde superficie y 5 sondajes se perforaron en labores subterráneas.

Minsur S.A. (1999) suscribió con Inca Pacific S.A. un "joint venture". Inca Pacific realizó cartografiado estructural y muestreo geoquímico. Se generó una grilla geofísica que consistió de 21 líneas con orientación NE y 200m de separación. Se completó con IP y magnetometría, parcialmente con autopotencial y CSAMT.

Inca Pacific S.A. (2001) perforó 5 sondajes diamantinos totalizando 3329.10m en los sistemas de vetas Santo Domingo y San Basilio.

II. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los trabajos exploratorios comenzaron a finales del 2013 y continúan hasta el 2016. En secuencia los trabajos realizados fueron:

2.1. TRABAJO DE GABINETE 2013

Consistió en la recopilación de información histórica generada por Minsur S.A. (1983-1985 y 1995-1998) e Inca Pacific S.A. (1999-2002); la fotointerpretación de lineamientos estructurales con imágenes satelitales; y el planeamiento de trabajo de campo para el año 2014.

La información recopilada fue: cartografiado geológico a escala 1:10000, levantamiento topográfico de labores subterráneas, muestreo geoquímico de estructuras en superficie y subterráneo, logueo geológico de sondajes diamantinos.

2.2. TRABAJO DE CAMPO 2014 – 2015

El cartografiado geológico fue a escalas 1:2000 y 1:500 en zonas de interés, la digitalización se realizó en el software ArcGIS 10.2 for Desktop.

El método de muestreo geoquímico superficial de roca caja y estructuras mineralizadas fue canal chip, se consideró el ancho máximo de canal en 20cm, el peso aproximado por muestra de 4kg, y el espaciamiento del muestreo cada 20m. Según los resultados geoquímicos, en zonas de interés el espaciamiento fue cada 5-10m. Las muestras fueron enviadas al laboratorio, y se analizaron por agua regia ICP-MS.

Durante el cartografiado geológico y muestreo geoquímico se colectaron muestras de mano para realizar los estudios microscópicos y espectrométricos.

Los estudios de microscopía óptica estuvieron a cargo de Vallance (2014- 2015) y el estudio de microscopía electrónica por Ocharán (2015).

El estudio espectroscópico se realizó mediante la captura de espectros de minerales de alteración hidrotermal con el equipo specTERRA, y la interpretación de los espectros se realizó con el software SPECMIN PRO v.3.1.

Luego de la identificación de los cuerpos ígneos y estructuras mineralizadas se ejecutó el levantamiento magnetométrico en toda el área del proyecto.

Se interpretó secciones geológicas a escala 1:5000 y se planteó el programa de perforación diamantina. Luego de la perforación se realizó el logueo geológico, muestreo geoquímico de sondajes e interpretación de secciones a escala 1:2000.

La información generada fue: geología del proyecto a escalas 1:2000 y 1:500, muestreo geoquímico superficial y subterráneo de rocas y estructuras, estudios espectrométricos, petrográficos y mineragráficos, levantamiento magnetométrico, interpretación de secciones geológicas a escalas 1:5000 y 1:2000, logueo geológico de sondajes, y muestreo geoquímico de sondajes.

2.3. TRABAJO DE GABINETE 2015 - 2016

El trabajo de gabinete consiste en analizar el total de la información recopilada y generada durante los trabajos de campo para la generación de un modelo geológico y redacción del informe geológico del proyecto Santo Domingo.



Figura 1: Diagrama de flujo con los trabajos realizados del 2013-2016

Fuente: Elaboración propia

III. GEOGRAFÍA

3.1. UBICACIÓN

El proyecto Santo Domingo, políticamente se encuentra ubicado en el distrito de Nuñoa, provincia de Melgar, departamento de Puno, se encuentra entre las altitudes de 4600msnm y 5150msnm. Se ubica a 24km al NW de la mina San Rafael.

Cuadro 1: Ubicación UTM (WGS84) del punto central del proyecto Santo Domingo

Punto Central	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
Área de Exploración	334145	8429293	4984

Fuente: Elaboración propia

3.2. ACCESIBILIDAD

El proyecto es accesible mediante vía aérea y terrestre. El recorrido se inicia en la ciudad de Lima por vía aérea (1:15h) hasta la ciudad de Juliaca, desde aquí se sigue la carretera interoceánica hasta la mina San Rafael (2:30h). Desde la mina San Rafael se sigue la trocha carrozable hacia el proyecto Santo Domingo (1:30h).

Cuadro 2: Vías de acceso al proyecto Santo Domingo

Ruta	Tipo de Acceso	Distancia (Km)	Tiempo
Lima - Juliaca	Vía aérea	900	1 hora y 30 minutos
Juliaca - Mina San Rafael	Carretera asfaltada	190	2 horas y 30 minutos
Mina San Rafael - Proyecto Santo Domingo	Trocha carrozable	55	1 hora y 30 minutos
Total		1145	5 horas y 30 minutos

Fuente: Elaboración propia

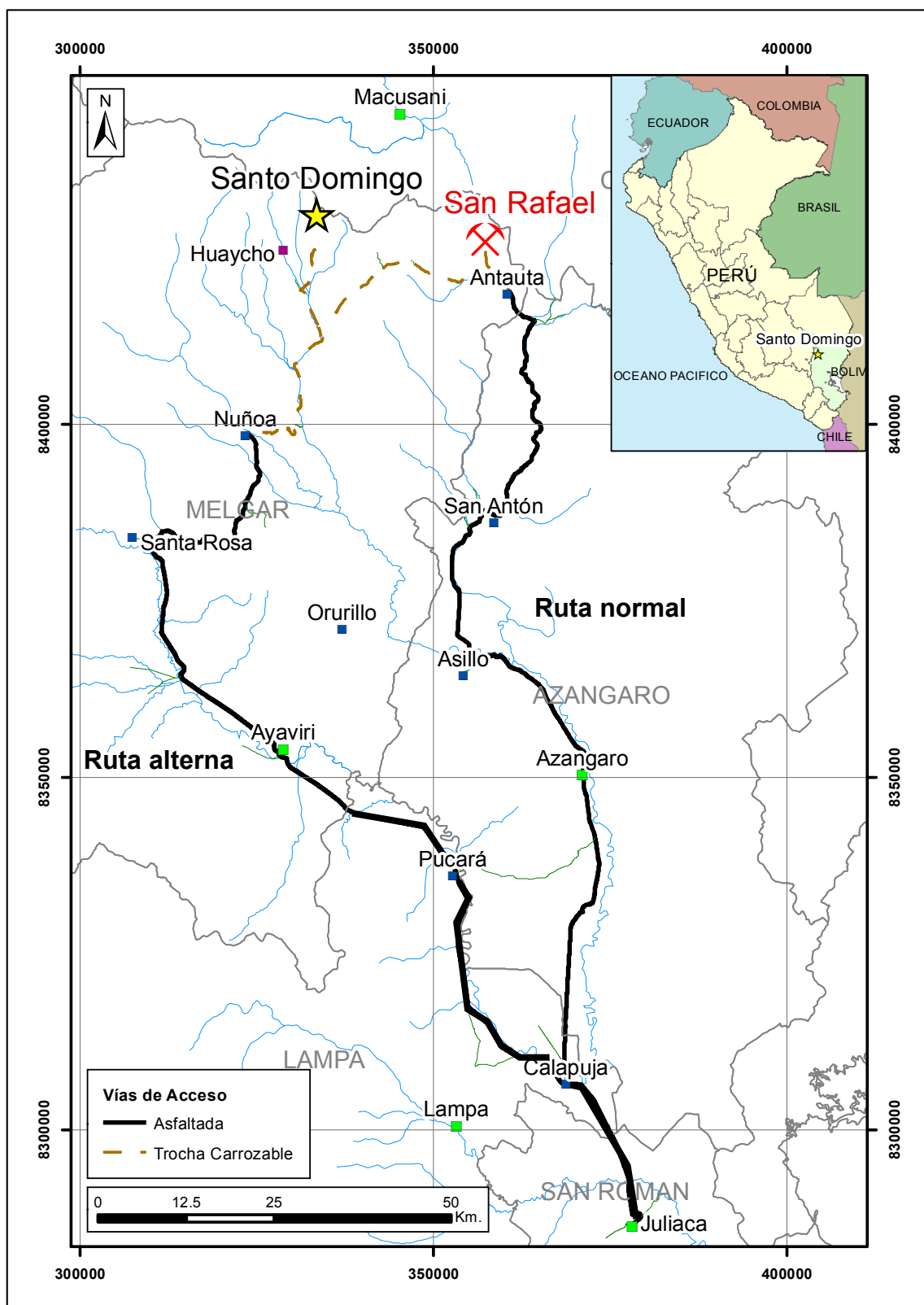


Figura 2: Ubicación y accesibilidad del proyecto Santo Domingo

Fuente: Minsur S.A., 2015

3.3. GEOMORFOLOGÍA

En el proyecto Santo Domingo se ubican las quebradas Ccasahuallata y Antuyuta, ambas con una dirección NE-SW.

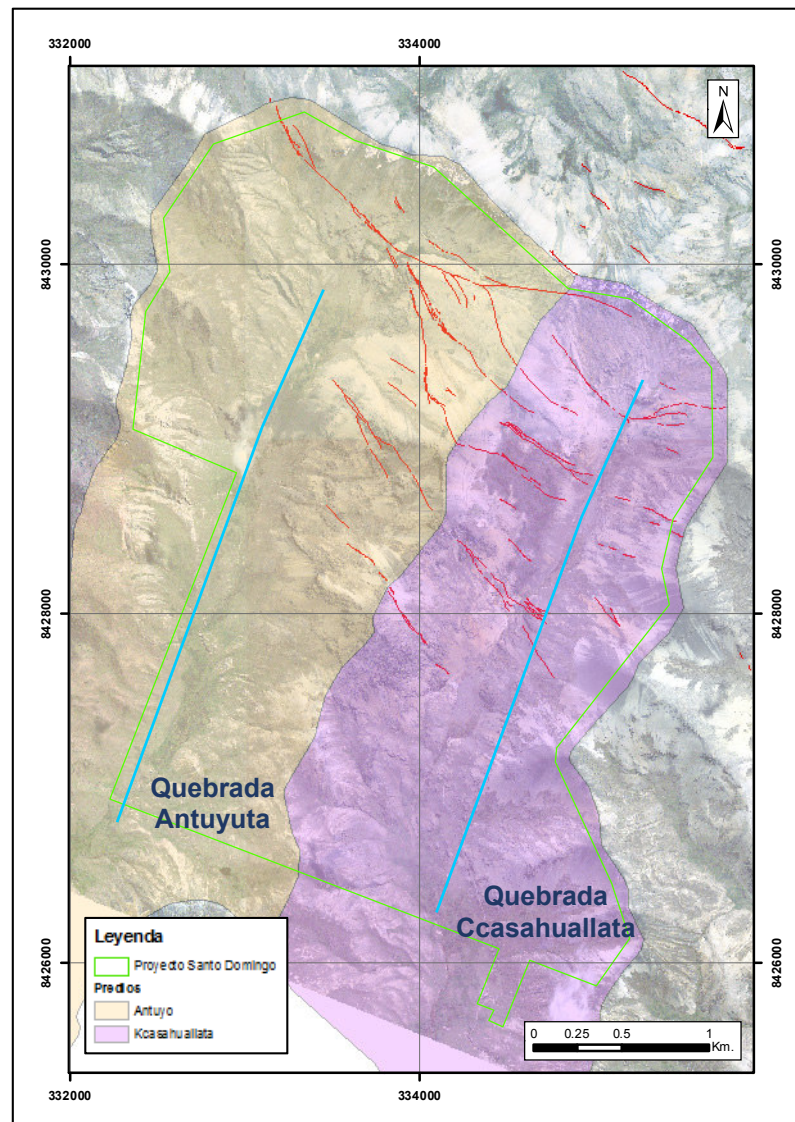


Figura 3: Predios y quebradas ubicadas en el proyecto Santo Domingo

Fuente: Minsur S.A., 2015

Según Yaku Consultores (2015) las unidades geomorfológicas identificadas son:

- **Valle Fluvioglaciario**

Son valles cuyo origen es de tipo glacial y fluvial debido a que presentan materiales, producto del deshielo de los glaciales generados aguas arriba.

- **Ladera Moderadamente Empinada a Empinada**

Se trata de fisonomías complejas debido a diferentes procesos gravitacionales, tectónicos y fluviales, los mismos que en la actualidad siguen vigentes. Presenta un relieve abrupto con pendientes que van desde 15 a 50%. Esta formación se presenta a lo largo de las quebradas Ccasahuallata y Antuyuta, sobre todo en las partes medias y altas.

- **Ladera Plana a Ligeramente Inclinada**

Esta unidad se caracteriza por tener un relieve plano con ligeras ondulaciones, donde las pendientes van de 0 a 4%. Esta unidad se encontró en la parte central a lo largo de la quebrada Ccasahuallata y Antuyuta, sobre todo en las zonas altas, media y baja, donde se encuentran áreas de bofedales y por donde discurren las aguas de las quebradas.

- **Montaña Alta Empinada**

Esta unidad está conformada por altas elevaciones, presenta un relieve pronunciado con pendientes que varían entre 25 y 50%. Estas elevaciones se encuentran la zona alta de las quebradas Ccasahuallata y Antuyuta.

- **Montaña Alta Moderadamente Empinada**

Esta unidad presenta las mismas descripciones físicas del relieve de la unidad anterior, con la diferencia de que presenta una pendiente menos empinada que varía de 15 a 25%, se encuentran en ambos márgenes a lo largo de las quebradas Ccasahuallata y Antuyuta.

3.4. CLIMA Y METEOROLOGÍA

Yaku Consultores (2015) caracterizó la meteorológica del proyecto, en base a información proveniente de dos estaciones meteorológicas convencionales, administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI); estas son Macusani y Ñuñoa, ambas ubicadas en los distritos de Macusani y Ñuñoa, provincias de Carabaya y Melgar, en la región Puno, respectivamente.

La información disponible para la estación Macusani comprende data registrada desde el año 2006 hasta el año 2011, para los siguientes parámetros meteorológicos: temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad del viento.

– **Temperatura**

Las temperaturas promedio mensuales registradas en la estación Macusani durante el periodo de registro, oscilaron entre -9.2°C (mínima) durante el mes de julio y 14.3°C (máxima) durante el mes de febrero.

– **Humedad relativa**

En general la región Puno tiene un contenido alto de humedad, en especial en los meses de verano, durante los cuales los valores exceden el 80%. Por otra parte, la estación Macusani tiene un rango de variación porcentual de humedad relativa estable a lo largo del año.

– **Precipitación**

En la estación Macusani el promedio multianual de precipitación es aproximadamente 526.2 mm, mientras que el mínimo y máximo anual se estimaron en 328.8 mm y 672.2 mm, respectivamente. En los meses de enero a marzo hay mayor incidencia de lluvias, registrándose los niveles más bajos en los meses de junio, julio y agosto.

– **Dirección y velocidad del viento**

La información de dirección predominante y velocidad del viento ha sido recopilada de los registros de la estación Macusani, que está a cargo del SENAMHI. Los datos analizados comprenden los años de 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011. De acuerdo con la información revisada, la dirección predominante del viento es noroeste y presenta una velocidad promedio 6.43 m/s.

3.5. PROPIEDAD SUPERFICIAL

El proyecto Santo Domingo abarca un área aproximada de 1131Has las cuales se ubican en los predios Kcasahuallata y Antuyo. En ambos predios existen cabañas dispersas ocupadas por pastores. El predio Kcasahuallata es propiedad de Minsur S.A., mientras que el predio Antuyo tiene como propietarios a personas particulares, la división de los predios es la línea de cumbre, ver Figura 3.

IV. GEOLOGÍA REGIONAL

El proyecto Santo Domingo, como la mina San Rafael, están ubicados en la Cordillera de Carabaya, que es un segmento de la cordillera oriental del sureste del Perú.

4.1. LITOESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Los estudios geológicos de escala regional han sido realizados esencialmente por Newell (1949), Laubacher (1978), Kontak (1985) y López (1996). En la región abunda una gruesa secuencia marina pelítica del Paleozoico Inferior, como las lutitas de la formación San José, de edad Ordovícico Medio; las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Sandia, de edad Ordovícico Superior, y las lutitas intercaladas con cuarcitas del Gpo. Ananea, del Silúrico-Devónico. Esta secuencia de 10 a 15 km de potencia sufrió deformación y metamorfismo en la facies prehnita-pumpellyita a esquistos verde durante la orogénesis hercínica (devónico tardío-carbonífero inferior) y forma la columna vertebral de la cordillera oriental en el sur del Perú tanto como en Bolivia.

Sobre esas rocas, descansa en discordancia angular una sucesión de 3 a 4km de potencia de areniscas arcóscas, psamitas y calizas del Paleozoico Superior (Gpo. Ambo del Misisipiano, Gpo. Tarma del Pensilvaniano, y Gpo. Copacabana del Pérmico Inferior). Después de un episodio débil de deformación sin metamorfismo, continuo la sedimentación con intermitente volcanismo alcalino llevando a la deposición de aproximadamente 3km de capas rojas y rocas volcánicas intercaladas (Gpo. Mitú) en un sistema de graben muy subsidente, durante el Triásico.

Varios episodios de intrusión de rocas plutónicas ocurrieron desde el devónico superior hasta el fin del terciario. Estas intrusiones pueden ser subdivididas en grandes batolitos: pérmico-triásicos hospedando mineralizaciones de Sn–Cu–W–Mo (plutones Limacpampa, Limbani, Aricoma y Coasa, agrupados en el batolito de Coasa); pequeños stocks de granitoides del cretácico superior con

mineralizaciones menores de Ag-metales bases; y stocks de rocas graníticas de edad terciario medio a tardío que hospedan la mayoría de las mineralizaciones a Sn–W–Ag-metales base de la región, incluyendo San Rafael (Kontak and Clark, 1988).

El intrusivo del Oligoceno tardío (24.65 ± 0.20 Ma; Clark et al., 2000) que hospeda la mineralización de San Rafael es parte de la secuencia intrusiva Picotani que pertenece al supergrupo Crucero. El Gpo. Picotani se encuentra compuesto por asociaciones de lavas y rocas piroclásticas, incluyendo lamprófidos (mineta), basaltos calco-alcalinos con rangos altos a moderados de K, shoshonitas, riocitas y riolitas del tipo S (peraluminosas), así como mezclas y asociaciones mixtas de las anteriores.

El Gpo. Quenamari (17 - 4 Ma; Cheilletz et al., 1992; Sandeman et al., 1997) se encuentra constituido por series silíceas y altamente peraluminosas (biotita-silimanita-muscovita-andalucita- turmalina), que muestran a su vez unidades piroclásticas e intrusiones epizonales cogenéticas. Las rocas piroclásticas del Gpo. Quenamari hospedan las mineralizaciones de uranio de Macusani.

En la Figura 5, se muestran las unidades litoestratigráficas que afloran en la mina San Rafael (rectángulo celeste) y el proyecto Santo Domingo (rectángulo rojo).

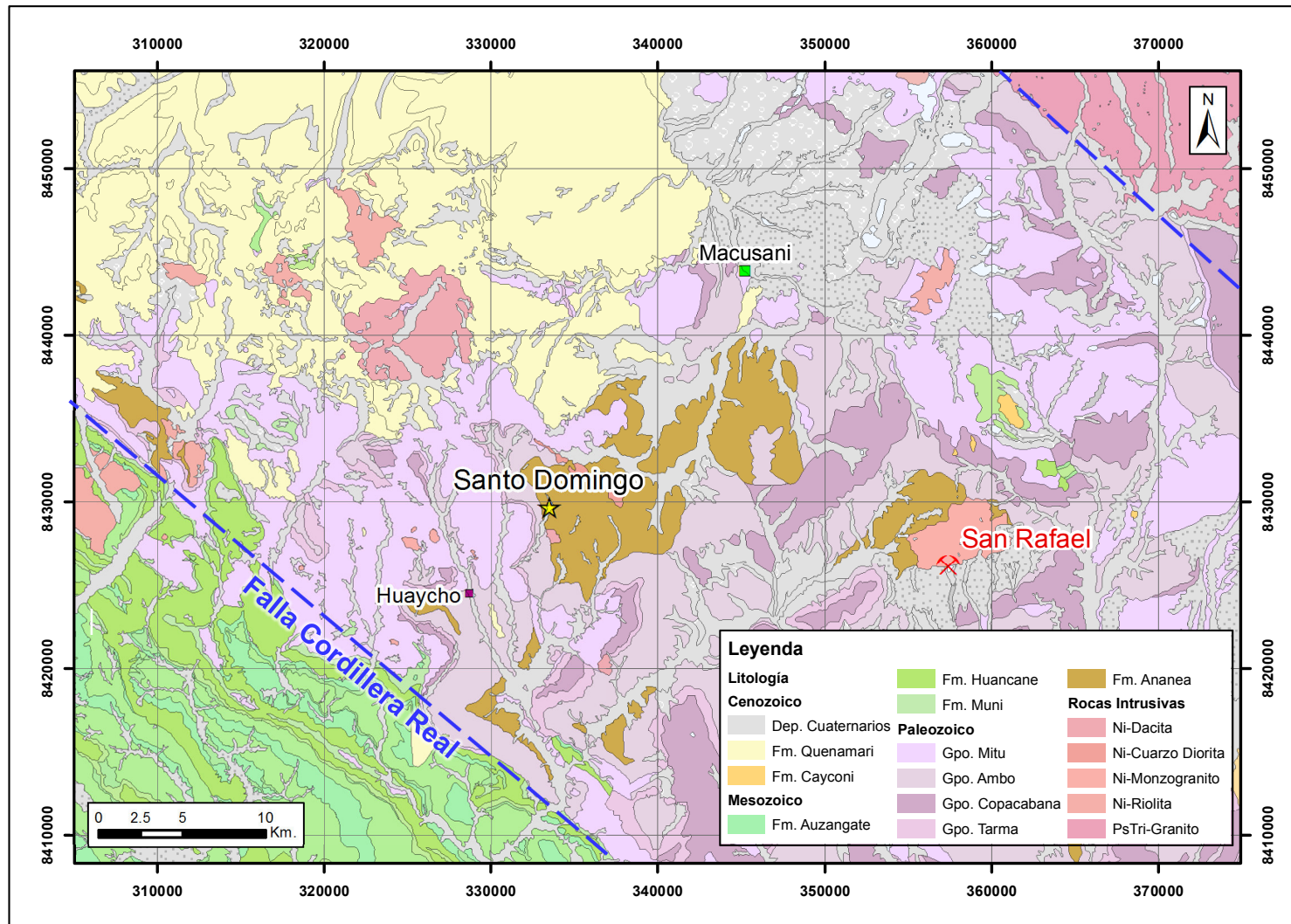


Figura 4: Plano geológico regional

Fuente: INGEMMET, 1996

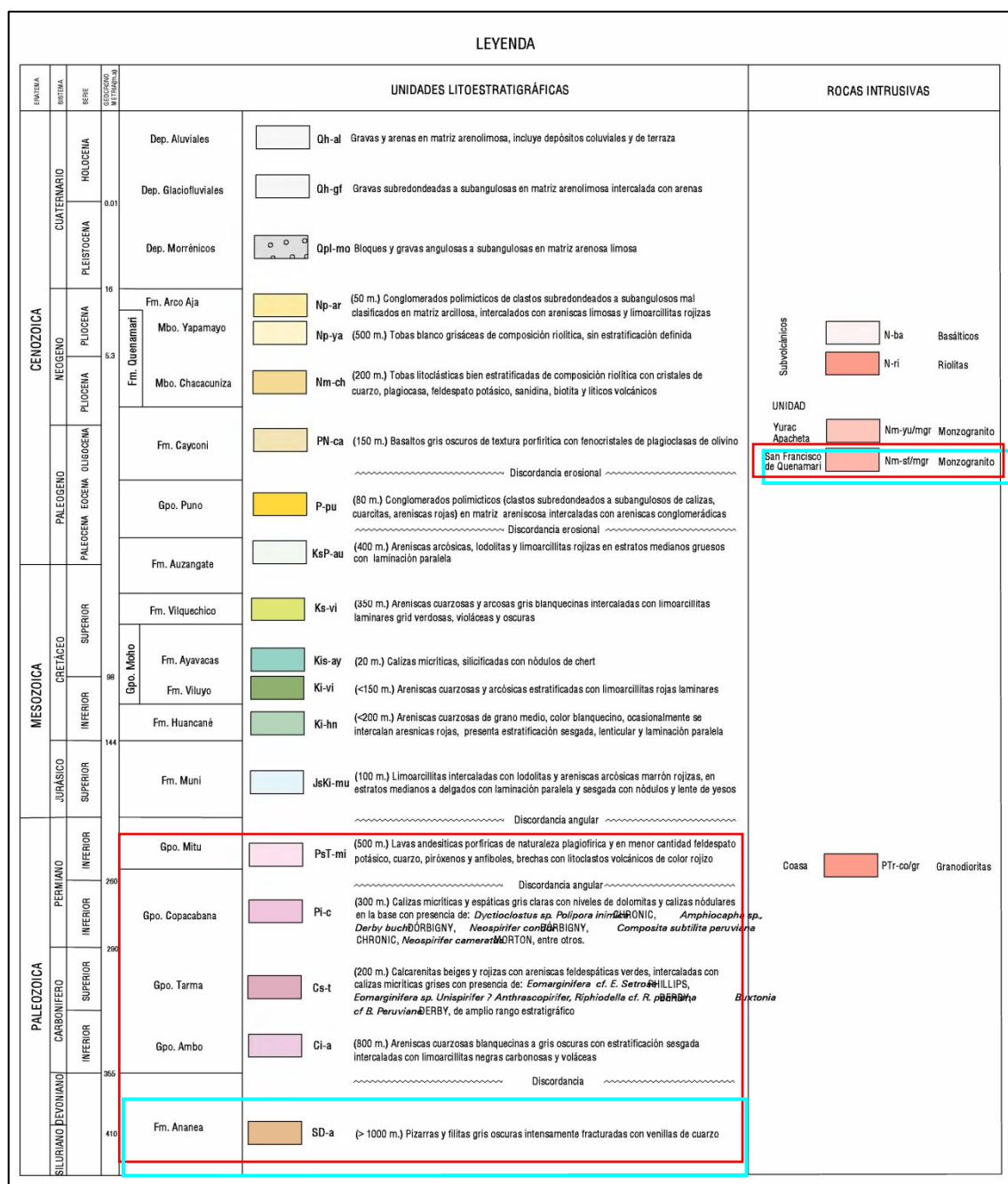


Figura 5: Unidades litoestratigráficas regionales

Fuente: INGEMMET, 1996

4.2. MAGMATISMO REGIONAL

Según los estudios de Lehmann et al. (1990) los depósitos de estaño están generalmente asociados a ambientes relativamente reductores que producen granitos tipo S de la serie ilmenita, en cambio, los elementos como el Au, Ag, Cu, Pb, Zn y Mo, predominan en ambientes oxidantes de la serie magnetita (Figura 6).

Lehmann et al. (1990) indica que la mineralización estannífera se relaciona a magmas con diferenciación avanzada y con un componente vertical importante, es por eso que las rocas productoras tienen alto contenido de sílice (70-78 wt% SiO₂) (Miskovic y Schaltegger, 2009). Del mismo modo, Lehmann et al. (1990) también señala que los principales minerales portadores de estaño son: biotita, hornablenda, titanita, magnetita, ilmenita y granate, debido a la similitud de radios iónicos entre Sn⁴⁺ con Ti⁴⁺ y Fe³⁺ (radios iónicos: Ti⁴⁺ 0.61, Fe³⁺ 0.55-0.65, Sn⁴⁺ 0.69), lo que permite la sustitución iónica entre ellos. En casos que exista Sn²⁺ en los fundidos reducidos, este tendrá un comportamiento incompatible y no se incorporará a ningún mineral fraccionado formador de roca, quedando disponible en el fluido al final (Lehmann, et al. 1990).

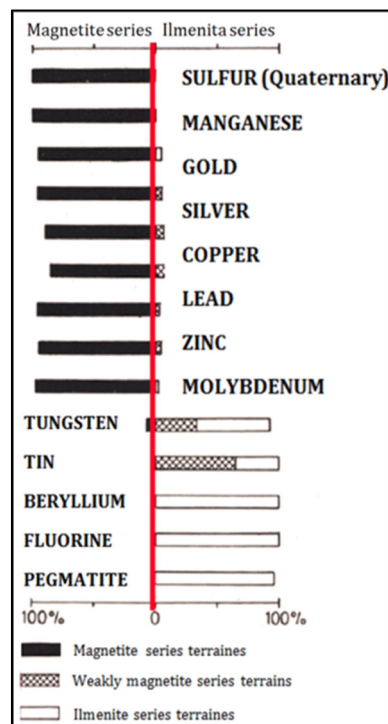


Figura 6: Ratios de componentes de mena en depósitos de Japón, clasificados en términos de las series de magnetita e ilmenita

Fuente: Ishihara, 1981

A escala regional, el ambiente tectónico y magmático favorable para la ocurrencia de mineralización por estaño se encuentra directamente relacionado al desarrollo de un Arco Magmático Interno, y que este sea marcadamente diferente al Arco Magmático Principal (Clark et al., 1990).

La región de dominio del Arco Magmático Principal comprende a las Cordilleras de la Costa y Occidental en el Sur del Perú y Norte de Chile, ubicándose en el basamento Paleozoico y Precambriano de facies granulita y anfibolita del macizo de Arequipa.

La región de dominio de Arco Interno se encuentra en la Cordillera Oriental del sureste del Perú y noroeste de Bolivia, y se hospeda en una potente secuencia de rocas sedimentarias paleozoicas calcáreo-clásticas fuertemente deformadas. Clark et al. (1990) también indica que mientras que el Arco Magmático Principal es de naturaleza calcoalcalina a shoshonítica, el Arco Magmático Interno de la Cordillera Oriental se caracteriza por un magmatismo peralcalino con contaminación cortical (Figura 7). Laubacher (1970) señala que mientras que la Cordillera Occidental Meso-cenozoico corresponde al ciclo orogénico Andino, la Cordillera Oriental corresponde al ciclo orogénico Hercínico del Paleozoico superior.

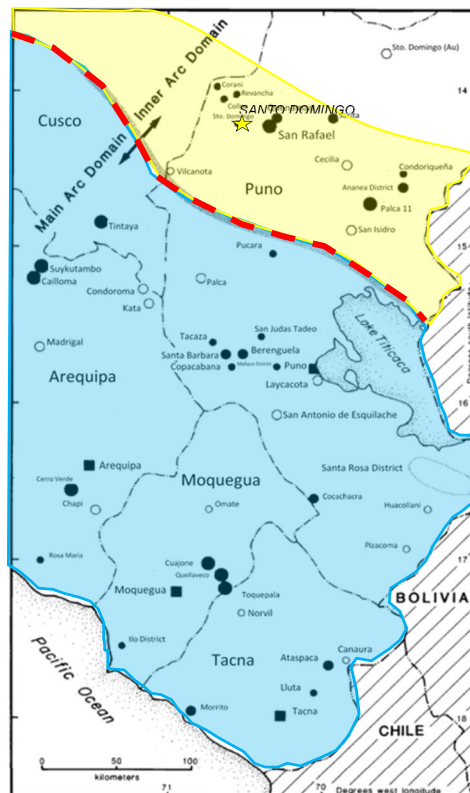


Figura 7: Distribución de los arcos magmáticos en el Perú
Fuente: Clark et al., 1990

El bloque litosférico Altiplano Oriental se ha desarrollado el Arco Interno Cenozoico (Clark et al., 1984), donde se tiene un magmatismo potásico a ultrapotásico representado por shoshonitas, lamproitas y minetas del Oligo-Mioceno-Plioceno (Carlier et al., 2005). Las lamproitas con flogopita, de edad oligocénica que existen en el bloque Altiplano Oriental sur peruano, demuestran la presencia infrayacida de un manto de harzburgita metasomatisado de edad Paleoproterozoico a Arqueana entre 1130-2485 Ma (Carlier et al., 2005).

Carlier et al. (2005), también señala que los edificios volcánicos diques, stocks, domos de rocas potásicas a ultrapotásicas, así como las lavas shoshoníticas y calco-alcalinas definen varios alineamientos magmáticos (Figura 8). Los principales alineamientos son:

- a) **N160°**: en el Altiplano Oriental, que corresponden mayormente a lamproitas con flogopita de edad Oligocena.
- b) **N120°**: en el Altiplano Occidental.
- c) **N140°**: en el sistema de fallas aún activa Urcos-Sicuani-Ayaviri y corresponde a lamproitas con flogopita y diópsido, kersantitas, minetas y traquibasaltos de augita.

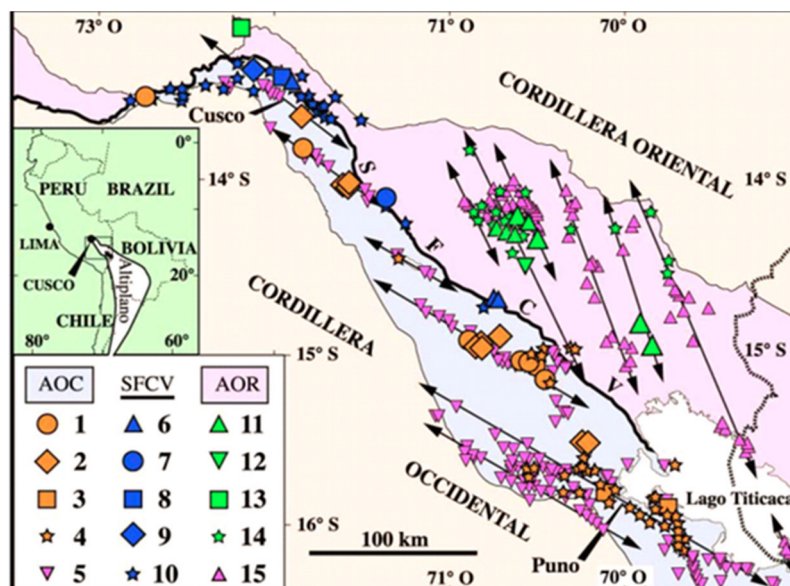


Figura 8: Naturaleza del magmatismo Cenozoico en el SE del Perú

Fuente: Carlier et al., 2005

En donde: **AOC**= Altiplano Occidental, **AOR**= Altiplano Oriental, **SFCV**= Sistema de fallas Cusco-Vilcanota. **1**= leucitas, basanitas con leucita; **2**= traquibasaltos con diópsido; **3**= traquibasaltos con olivino; **4**= shoshonitas; **5**= intrusivos calco-alcalinos metaluminosos; **6**= lamproitas con diópsido; **7**= kersantitas; **8**= traquibasaltos con augita; **9**= minetas con olivino; **10**= shoshonitas; **11**= lamproitas con flogopita; **12**= lamproitas de hipersteno-augita; **13**= minetas de olivino; **14**= minetas con hipersteno; **15**= intrusivos calco-alcalinos peraluminosos. Flechas negras indican los alineamientos magmáticos N160°, N140° y N120°.

Varios episodios de intrusión de rocas plutónicas ocurrieron desde el Devónico superior hasta finales del Terciario (Granitoides del Devónico superior a Carbonífero inferior, Batolitos Permo-Triásicos, Stocks graníticos del Cretácico superior y Stocks graníticos del Terciario medio a tardío).

El stock de la mina San Rafael, que es parte del Grupo Picotani y pertenece al Supergrupo Crucero, es definido como monzogranito con 24.6 a 24.7 Ma, datado en 206Pb/238U (en zircón y monacita, Clark et al., 2000).

En el proyecto Santo Domingo, un dique monzogranítico fue datado por el método de K-AR en biotita por Palma (1981) dando una edad de 24.3 ± 0.6 Ma, esta edad es muy similar a la reportada en la mina San Rafael, implicando que la intrusión en ambos fue contemporánea.

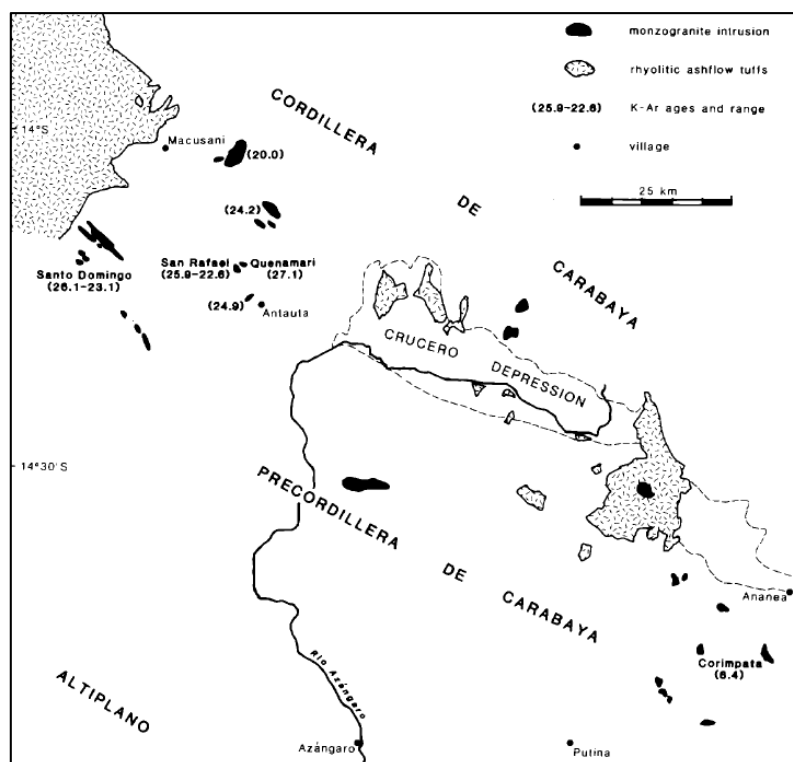


Figura 9: Dataciones respecto a las provincias fisiográficas en el sur del Perú.

Fuente: Kontak et al., 1987

Cuadro 3: Relación de principales cuerpos intrusivos, secuencias volcánicas y principales elementos anómalos en el SE del Perú.

Edad	Intrusivo	Volcanismo	Elemento	Fuente
Mio-Plioceno		Fm. Quenamari	U	Rivera, R. et al., 2011
		Fm. Picotani		Rivera, R. et al., 2011
Oligoceno sup.- Mioceno inf.	Granito de C° Moromoroni	Fm. Cayconi	Sb	Rivera, R. et al., 2011
	Granito de San Rafael		Sn-Zn	Rivera, R. et al., 2011, Kontak, et al., 1984.
	Granito de Minastira		Sn, W, Ag-BM	Rivera, R. et al., 2011
Jurásico	Sienita Macusani		Ag-Cu W-Sn-Mo-Cu	180Ma (K/Ar) Stewart (1974)

Fuente: Villón, 2013

***CONTINUACIÓN**

Edad	Intrusivo	Volcanismo	Elemento	Fuente
Permo-Triásico	Granito de Vilcabamba	Gpo. Mitu	Cu(-W)	Rivera, R. et al., 2011
	Granito de Ayapata			Rivera, R. et al., 2011
	Batolito de Aricoma			230+10Ma (U-Pb) Lancelot y Laubacher (1978), 234Ma Dalmayrac (1980)
	Batolito de Limbani			Kontak, et al., 1984
	Batolito de Coasa			235Ma (U-Pb) Lancelot (1978).
Devónico tardío	Granito de Marcapata			Rivera, R. et al., 2011
	Granito de Amparaes			Rivera, R. et al., 2011
	Plutón Limacpampa			Devónico tardío (Rivera, R. et al., 2011)
	Complejo San Gabán			Eohercínico (Clark, et al., 1990), Devónico tardío (Rivera, R. et al., 2011)

Fuente: Villón, 2013

4.3. DOMINIOS GEOTECTÓNICOS

La corteza en el territorio peruano está compuesta por la reunión de diferentes bloques estructurales que se denominan dominios geotectónicos. La clasificación está basada en las características propias que presenta cada dominio respecto a su evolución sedimentaria, tectónica y magmática. Los límites entre cada dominio están señalados por sistemas de fallas complejas y por unidades magmáticas de diferentes edades (Carlotto, 2010).

Correlaciones establecidas entre los dominios geotectónicos y las anomalías de Bouguer demuestran que estos dominios tienen espesores de corteza diferentes, y que cambios bruscos de anomalías gravimétricas coinciden a grandes sistemas de fallas, es decir, a los límites de estos dominios (Mamani et al., 2009).

En el Perú se han definido trece (13) dominios geotectónicos (Carlotto et al., 2009) (Figura 10).

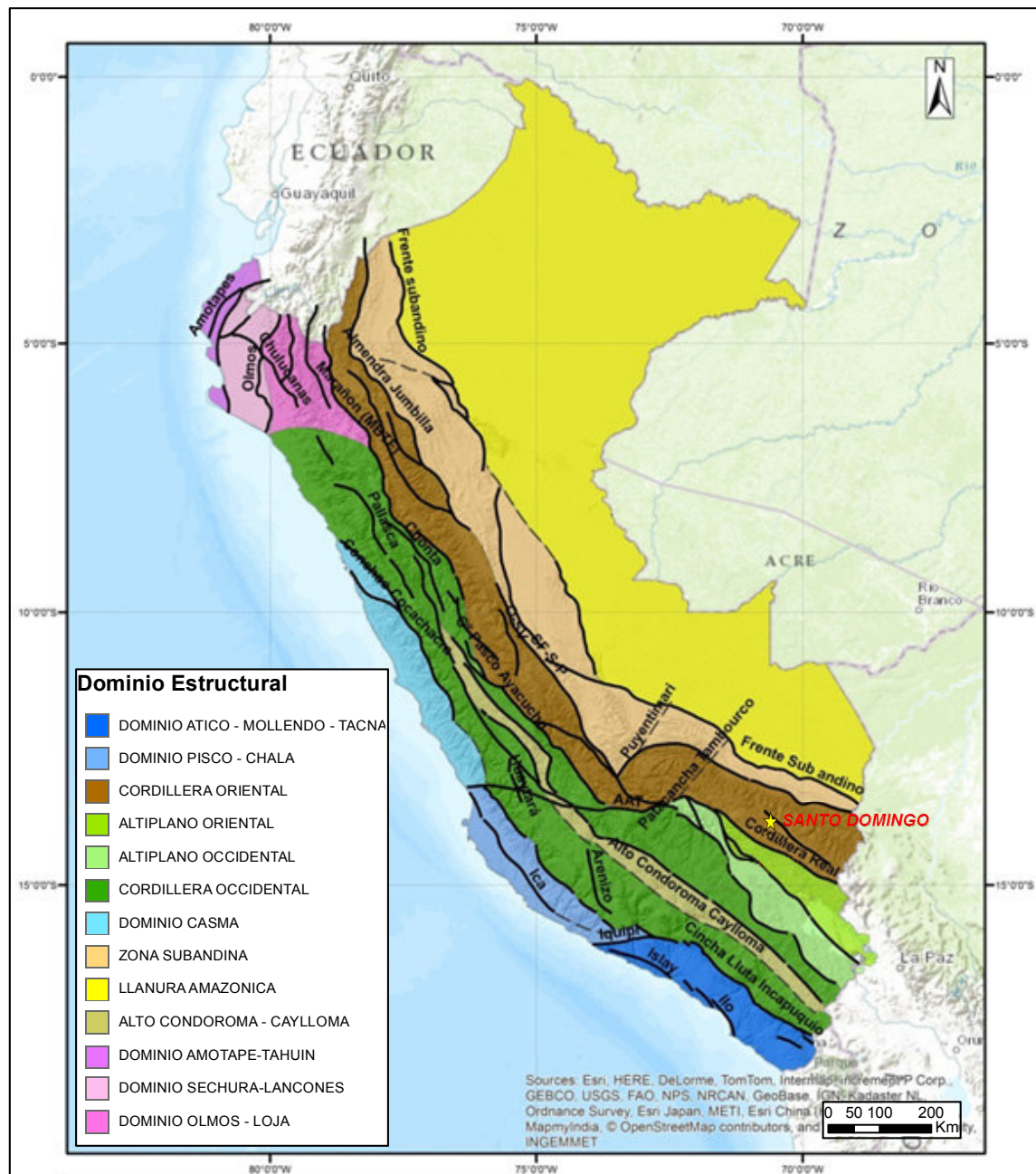


Figura 10: Mapa del Perú que representa los dominios geotectónicos

Fuente: Carlotto et al., 2009

El proyecto Santo Domingo y la mina San Rafael se ubican en el dominio Cordillera Oriental.

4.3.1. Dominio Cordillera Oriental

En este dominio afloran rocas metasedimentarias del Paleozoico inferior que corresponden a un ambiente de cuenca distensiva en un contexto de trasarco, que

posteriormente evoluciona a régimen compresivo en un contexto de cuenca antepaís de retroarco (Jaillard et al., 2000). Estructuralmente el dominio está controlado por los sistemas de fallas del frente subandino, Cordillera Real, Urcos-Sicuani-Ayaviri, San Francisco-Satipo-Pangoa y Oxapampa-San Vicente, y el sistema de fallas del río Marañón (Figura 10). Estos sistemas controlaron la evolución de las cuencas y el emplazamiento de cuerpos intrusivos durante todo el Paleozoico. En el Permo-Triásico actuaron como fallas normales asociado al rift Permo-Triásico, que luego durante la evolución andina actúan como fallas inversas, lo que ha producido el fuerte levantamiento y erosión de la actual Cordillera Oriental (Carlotto et al., 2009).

Estudios de elementos mayores y traza indican que los granitos permo-triásicos de la Cordillera Oriental son peraluminosos a peraluminosos medios (Miskovic y Schaltegger, 2009). El emplazamiento de los granitoides peraluminosos en la Cordillera de Carabaya, del Triásico superior al Jurásico (220-190 Ma), representan regional y temporalmente un evento tectonomagmático relacionado a re-sutura de los bloques Arequipa-Antofalla (Miskovic y Schaltegger, 2009) (Figura 11). A estos granitos también se les puede clasificar tectónica y magmáticamente como granitos orogénicos transicionales (Carlotto et al., 2009).

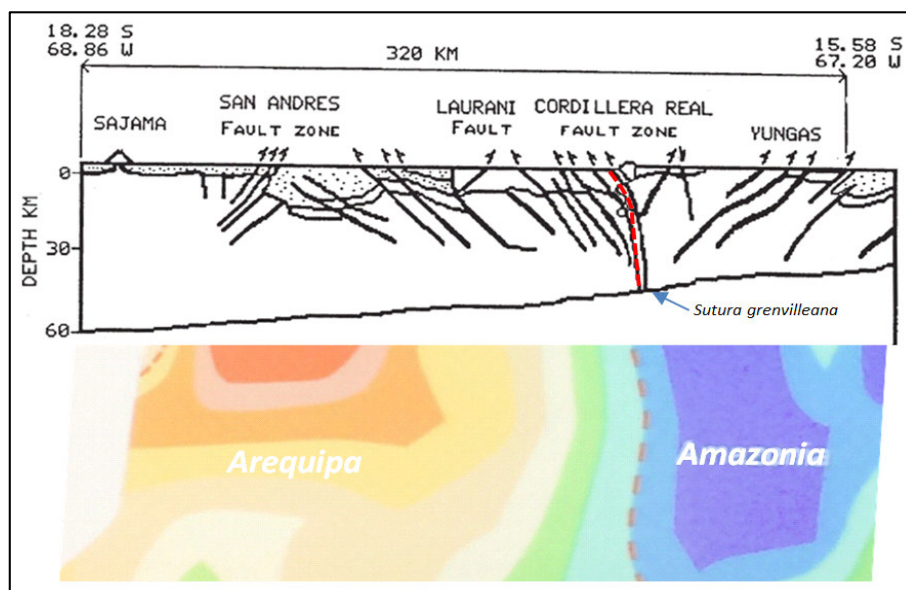


Figura 11: Tomografía sísmica de la sutura grenvilleana entre los paleocontinentes Arequipa y Amazonia

Fuente: Modificado de Drake y Minaba, 1996

4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

Según lo indicado por López (1996) en el Boletín N° 74 sobre la geología del cuadrángulo de Nuñoa, regionalmente se pone en evidencia una clara sobreimposición de fases tectónicas (Laubacher, 1978), que influenciaron notablemente en la evolución sedimentaria de las secuencias mesozoicas y cenozoicas componentes. En orden cronológico, han podido ser reconocidas las siguientes:

4.4.1. Deformación Eohercínica

Se la ha observado afectando a las rocas de la Formación Chagrapi y Formación Ananea. Si bien no se ha observado una relación discordante entre alguna de estas unidades y el Grupo Ambo (Carbonífero inferior), existen evidencias de una deformación compresiva sobre las pelitas del Paleozoico inferior. Ello queda manifestado por una pizarrosidad y esquistosidad marcada observada al NW del abra de Quellosani y en Chillotani. Los pliegues están ligados a la Formación Chagrapi y Formación Ananea, apretados de dirección WNW-ESE (Uray Jalluyuta y C° Ccasahuallata).

4.4.2. Deformación Tardihercínica

En el área la deformación tardihercínica queda evidenciada por una discordancia angular clara entre el Grupo Mitu con el Grupo Copacabana (Marmirani), con el Grupo Tarma (Yurac Cancha y Hda. Ccaccapunco), con la Formación Chagrapi (C° Yanasalla - C° Palchani) y con la Formación Ananea (sector NW de la hoja); con el Grupo Ambo (C° Navajani y al S de Aguilani).

Esta deformación ha originado pliegues de dirección NW-SE sobre las rocas de los Grupos Ambo, Tarma y Copacabana, tratándose de pliegues apretados y asimétricos. A esta fase se relacionan también las grandes fallas longitudinales y un importante volcanismo, manifestado sobre todo hacia los ejes de los bloques paleozoicos formados.

4.4.3. Deformación Post-Permiana

Deformación distensiva en bloques o quebradizas que afecta a los terrenos paleozoicos, incluido al Grupo Mitu, caracterizándose por grandes fallas normales y sinestrales subverticales, que ponen en contacto al Grupo Mitu con rocas de la Formación Ananea.

Muchas de estas grandes fallas no afectan a la secuencia Cretácea, sin embargo, tuvieron una gran influencia sobre su sedimentación debido a que generaron o reactivaron los bloques hundidos o fosas que le sirvieron luego como cuenca de depósito. Se piensa que esta deformación pudiera formar parte de los últimos episodios de la tectónica hercínica (Finihercínica).

4.4.4. Deformación Andina

Se han reconocido en el área tres de sus fases:

- **Fase Peruana**

Está puesto en evidencia tanto sobre la discordancia angular de la secuencia Cretácea con las tobas de la Formación Quenamari de edad Mio-Plioceno, como sobre los fuertes plegamientos asimétricos de dirección andina (NW-SE) y los sobreescurrecimientos que a ellos se relacionan, así como también por las fallas transversales. Se trata de una deformación compresiva, que acorta la secuencia Cretácea en dirección NE-SW y reactiva e invierte el sentido de muchas fallas de origen hercínico.

- **Fase Quechua II**

Durante el Mioceno, la zona sufre una nueva deformación distensiva que produce una reactivación de las grandes fallas longitudinales profundas, formándose la depresión de Corani-Ananea. Del mismo modo, a estas zonas de ruptura se relaciona un intensivo volcanismo félsico, que prácticamente oblitera el límite fallado Sur de la depresión.

- Fase Quechua III

A finales del Plioceno se produce nuevamente una deformación distensiva que restablece el movimiento de las fallas formadas anteriormente, disectando las mesetas tobáceas con un marcado rumbo E-W, al que secundariamente cortan fallas transversales de dirección NE-SW y NW-SE.

4.5. METALOGENIA

En Sudamérica, la franja estannífera está ubicada en la Cordillera Oriental, en la zona donde los Andes alcanzan su ancho máximo, su máximo de espesor, y donde presenta simetría respecto a la deflexión de Arica (Mlynarczyk et al. 2005) (Figura 12c). En la zona de deflexión es donde presenta la máxima compresión, el máximo acortamiento y engrosamiento de la corteza (mayor a 300km). La provincia metalogenética de Sn-Ag comprende al sur del Perú, el oeste de Bolivia y el noroeste de Argentina, y tiene una extensión de más de 1200km de longitud con 40-100km de ancho (Figura 12).

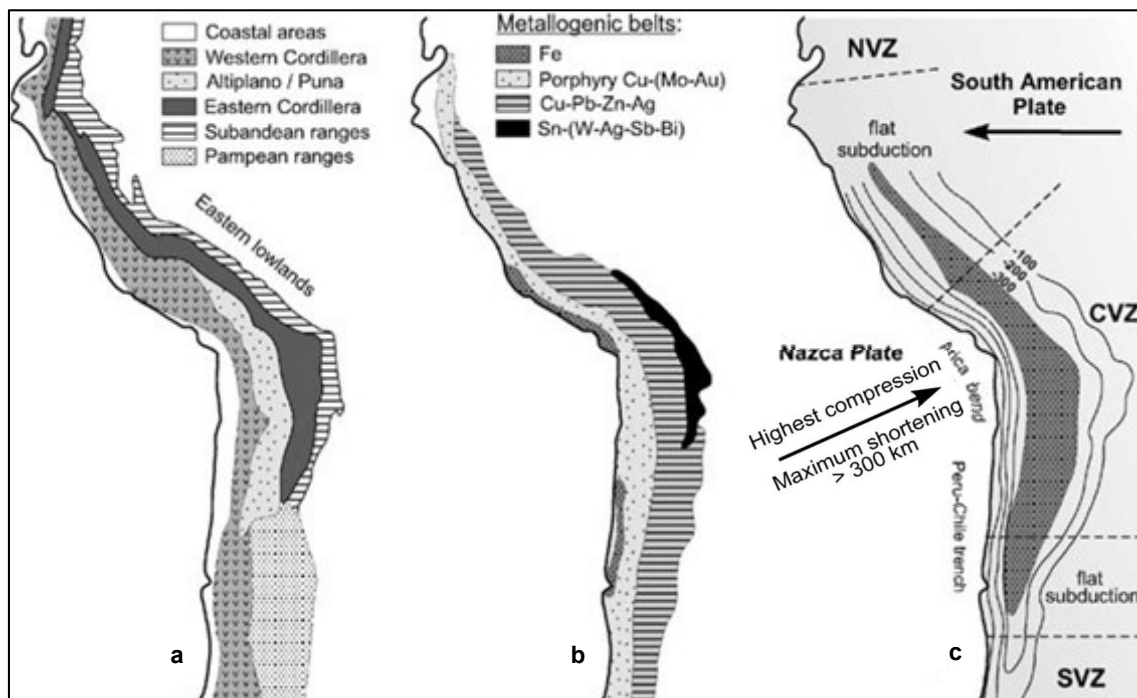


Figura 12: Principales características geológicas de los Andes Centrales

Fuente: Mlynarczyk y Williams-Jones, 2005

Zappettini et al. (2001) define las épocas metalogenéticas de la región en cinco eventos (Figura 14):

1. Primer Episodio: pertenece al Permo-Triásico y es el más antiguo y de menor volumen. Está representada por pequeños depósitos vetiformes en Perú, como San Judas Tadeo (W-Au) datado en 260 Ma (Clark et al., 1990), Condoriqueña I (Sn) y Volcán (Cu).

2. Segundo Episodio: del Triásico superior al Jurásico inferior (225-202 Ma), se relaciona con una tectónica en extensión del tipo rift que en Bolivia está vinculada a muchos yacimientos de vetas, greisen, pegmatitas y skarns de Sn-W-Au-Bi-Zn-Pb-Ag-Sb. Se tiene casos como Chojlla y Chacaltaya en Bolivia. En Perú está representado por Sarita (Sn, W, Mo y Cu), de edad 190 y 185 Ma (Clark et al., 1990a), Pio X (Pb), Ucuntaya (Cu) y Levans (W-Mo), datado en 186.7+3.8 Ma en K-Ar por Kontak et al. (1984).

Durante el Mesozoico, los depósitos más importantes de Sn-W-Mo de la Cordillera de Carabaya se emplazaron en el Jurásico Temprano en asociación a stocks fuertemente peraluminosos que penetraron en el Triásico Superior (Clark et al., 1990). Esta mineralización es coetánea a la creación del arco magmático principal (Main Arc Domain) en el litoral de Perú y Chile. Clark et al. (1990) también considera que como los niveles epizonales de los plutones en la Cordillera Real de Bolivia están ampliamente expuestos, este escenario pudo haber borrado la mayor parte de sus depósitos de metales litófilos significativos, como es el caso de Sarita en Perú.

3. Tercer Episodio: evento se relaciona con el magmatismo del Oligoceno superior - Mioceno inferior (28 y 23 Ma), donde la mineralización se asocia a intrusivos graníticos y corresponde a depósitos vetiformes. En Perú se tiene los casos de San Rafael (Sn), Santo Domingo (Sn), Quenamari (Pb-Zn, Ag, Sn?), Rosario (Mo), Condoriqueña II (Cu-Zn, Sn), Palca XI (W-Cu, Zn, Ag, Sn?), y en Bolivia se tiene a Quimsa Cruz, Llallagua y Colquechaca.

Clark et al. (1990) menciona que los stocks de intrusivos de la Cordillera de Carabaya se emplazaron en un entorno estructuralmente neutro (post cinemática), mientras que inmediatamente después, las venas de Sn-W (24 Ma) se formaron durante fase tectónica compresiva andina Aymara.

4. Cuarto Episodio: ocurre en el Mioceno medio y es de escasa importancia en Perú, el prospecto Jérica Sn-Zn (17.4 Ma) es el único de esta época (Clark et al., 1990). Mientras que en Bolivia dio lugar a yacimientos muy conocidos de Sn-Ag (Sb) como Cerro Rico de Potosí (13.8 Ma), Oruro (16.3 Ma), Chorolque (16.2 Ma), Tatasi (15.6 Ma), Tasna (16.4 Ma) (Clark et al. 1990); y Pirquitas en Argentina.

La mineralización de este episodio está asociada a pórfidos dacíticos cuyas edades están entre 16 y 11 Ma, acompañado por chimeneas hidrotermales y calderas de colapso.

5. Quinto Episodio: ocurrió durante el Mioceno superior - Plioceno, la mineralización se presenta asociada al vulcanismo ignimbrítico de Macusani, donde existen depósitos vetiformes, estratoligados y exhalativos de U (Arribas y Figueroa, 1985), además Sb y metales base (Clark et al., 1990).

Según Clark et al. (1990), la ausencia de Sn en esta época tiene relación a que la mayoría de stocks de esta edad no muestran evidencia de afiliación petroquímica a fluidos magmáticos de alta temperatura. A pesar de ello, estas son condiciones muy favorables para el desarrollo de complejos de uranio, como la Meseta de Quenamari (Macusani), que es uno de los campos uraníferos más grandes y ricos del mundo.

De los cinco episodios mencionados, los más importantes se dieron del Triásico al Jurásico inferior (restringido sólo al noroeste de Bolivia), y el más importante es del Oligoceno superior al Mioceno, donde sí tuvo un desarrollo en prácticamente toda la provincia (Mlynarczyk et al. 2005).

Clark et al. (1990) aclara que los dominios que se muestran en la Figura 14 no son estrictamente subprovincias metalogenéticas ya que no cuentan con la suficiente intensidad de actividad hidrotermal.

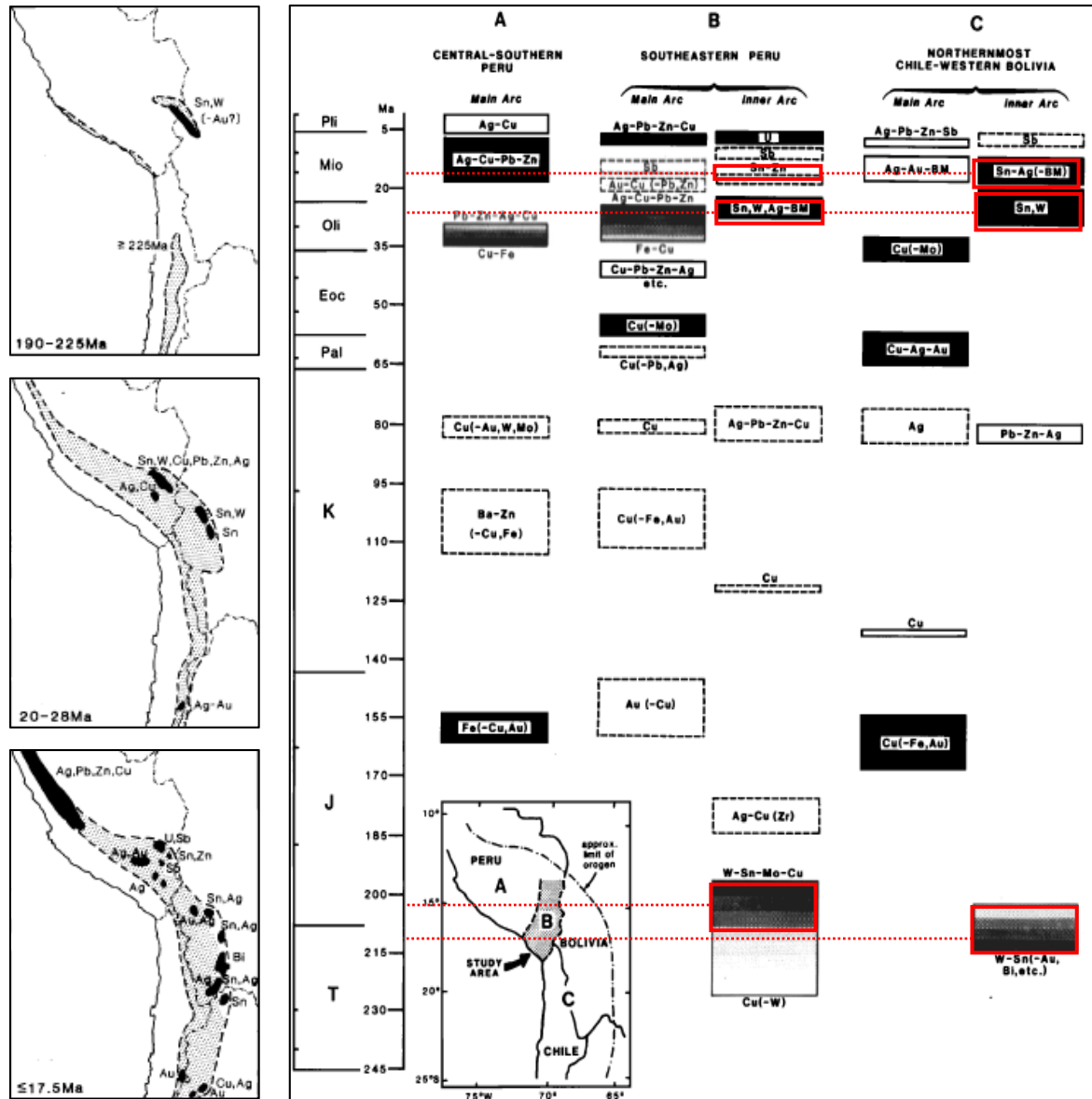


Figura 14: Episodios metalogenéticos de los Andes Centrales

Fuente: Clark et al., 1990

En la Figura 14, los eventos con mayor mineralización están señalados en los recuadros de color negro (de rojo los de estaño), y de menor intensidad en color blanco. En los mapas de la izquierda se muestran áreas de los Andes centrales afectadas por magmatismo y por episodios metalogenéticos durante el Mesozoico y Cenozoico. Áreas sombreadas en gris delimitan las principales zonas vulcano

plutónicas, y las áreas negras representan los eventos metalogenéticos y/o mineralizantes más significativos.

Es notable observar que los campos de ignimbritas del Mioceno superior, como Macusani al SW de Perú (~1200 km²), Morococala (~1500 km²) y Los Frailes (~8500 km²) al SW de Bolivia, están ubicados en los extremos opuestos de la provincia estannífera (Figura 15a), lo que implicaría que la simetría que presenta el magmatismo del Arco Interno (Inner Arc Domain) está directamente relacionado a la interacción a discretos eventos entre las placas de Nazca y Sudamericana (Mlynarczyk et al., 2005).

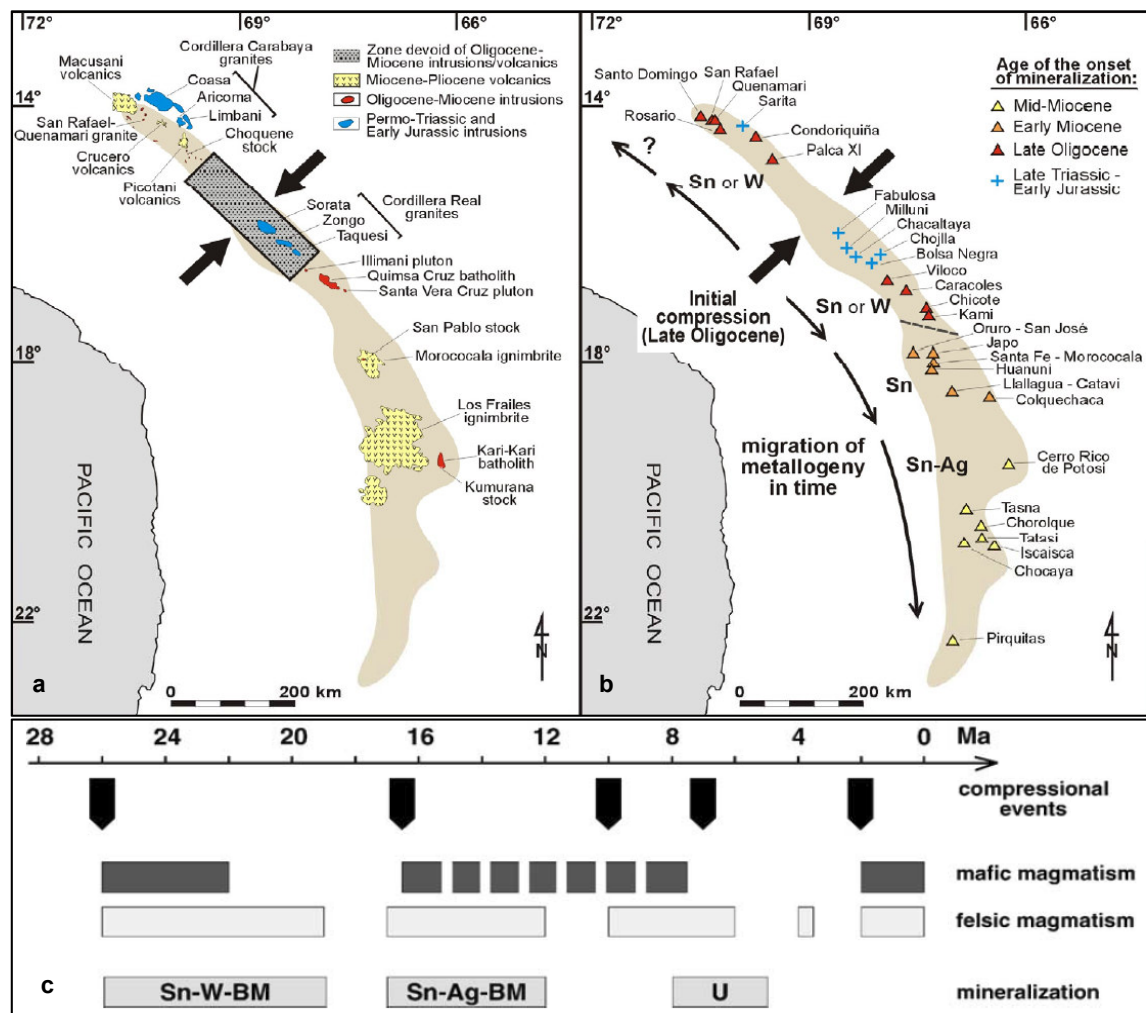


Figura 15: Franja estannífera de los Andes Centrales

Fuente: Mlynarczyk et al., 2005

En donde: **a)** Rocas plutónicas y volcánicas del Permo-Triásico, Jurásico inferior y Terciario que corresponden a los episodios más favorables de mineralización en la franja estannífera de los Andes centrales. **b)** Migración de la mineralización en la franja estannífera de los Andes con relación al tiempo. Las flechas negras indican la dirección de compresión que hubo en el Oligoceno superior. **c)** Geocronología de la tectónica compresional, magmatismo y mineralización en los Andes centrales del Perú y Bolivia.

Existen numerosas ocurrencias mineralizadas en el distrito de Carabaya (sector Juliaca – Antauta – Macusani) por una variedad de elementos como Sn, W, Sb, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Mn, Fe y Mo (Figura 16). Dentro de las ocurrencias con presencia de estaño, cabe destacar la mina San Rafael, así como los proyectos/prospectos: Santo Domingo, Taucane, Corani, Chimboya, Jesica y Palca.

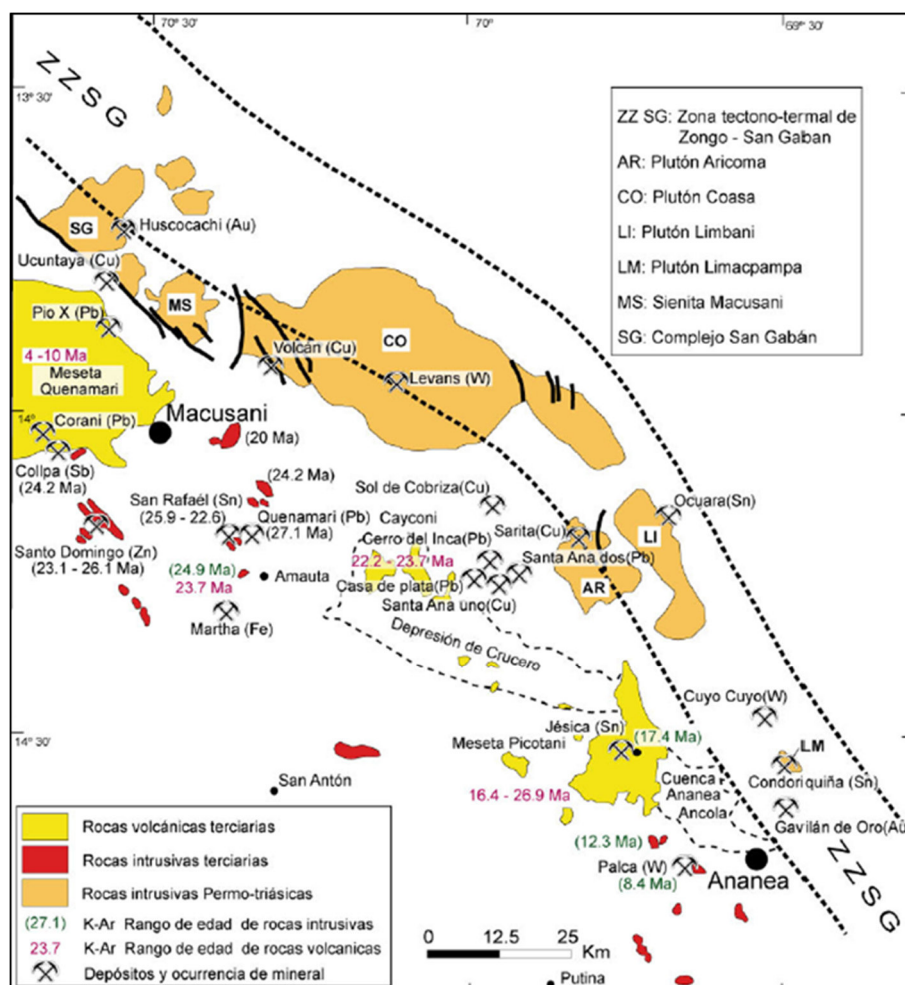


Figura 16: Mapa geológico con ubicación de minas, proyectos y prospectos.

Fuente: Carlotto et al., 2009

Villón (2013) describe las principales características geológicas de los depósitos minerales más importantes del sector: San Rafael y Corani.

4.5.1. Mina San Rafael (Sn)

Principal depósito de estaño del Perú, la edad de mineralización está entre 22 y 25 Ma. Está situado en el flanco W de la Cordillera de Carabaya, es uno de los depósitos hidrotermales de Sn más grandes del mundo, con una ley promedio de 4.7%. La mineralización se presenta en vetas de casiterita-cuarzo-clorita, brechas hospedadas en grandes fallas verticales y cuerpos que contienen casiterita acicular ubicada en la parte superior del sistema.

La mineralización de Sn y Cu subordinado fue confinada a zonas de cizallas frágiles de extensión lateral y vertical, generada por la tectónica regional que corta un pequeño stock monzogranítico a granodiorítico epizonal datado en 24.65 ± 0.20 Ma por $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ en biotitas (Clark et al., 2000), de fuerte composición peraluminosa, tipo S con cordierita y biotita (Kontak y Clark, 2002).

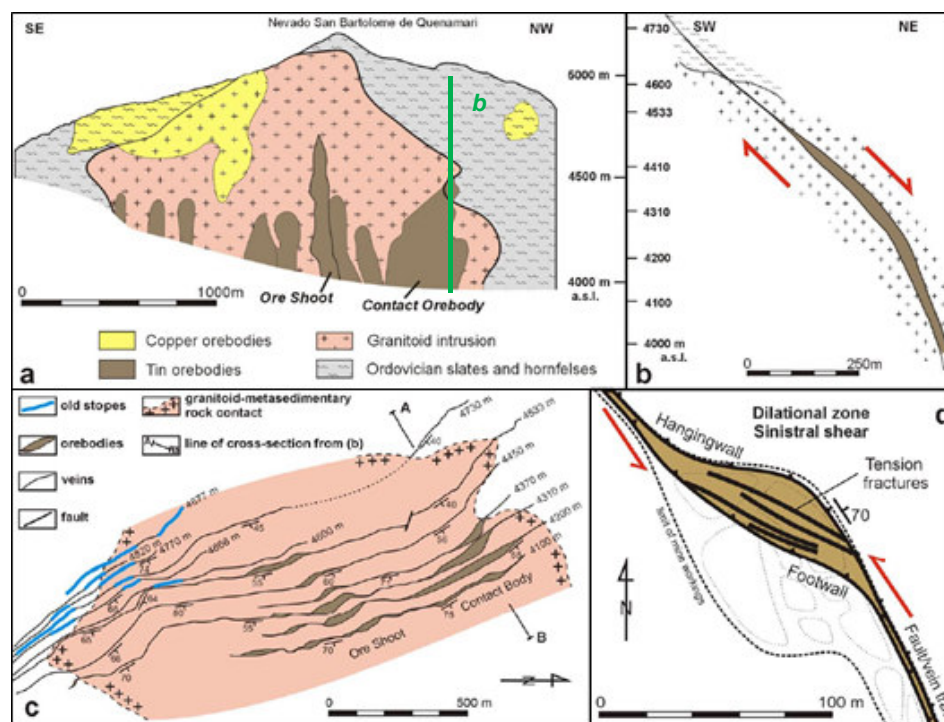


Figura 17: Esquemas de la mineralización estannífera en San Rafael

Fuente: Mlynarczyk et al., 2005

En donde: **a)** Sección longitudinal de la veta San Rafael. **b)** Sección transversal a la veta San Rafael (N58°E). **c)** Contornos estructurales en la veta San Rafael y en el contacto de las rocas intrusivas con las metasedimentarias. **d)** Control estructural en la veta San Rafael.

Las vetas tienen longitudes mayores a 3km y potencia variable entre 0.3 a 2m con rumbo NW-SE. Se han descrito vetas de cuarzo-turmalina y brechas que se emplazaron alrededor de los $24.10 \pm 0.15\text{Ma}$ ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en muscovita hidrotermal) a alta temperatura ($\leq 580^\circ\text{C}$), por ebullición de fluidos salinos que posiblemente fueron disueltos del fundido granítico, mientras que la casiterita y la calcopirita (que se presenta en lo más alto del sistema) fueron precipitados por enfriamiento y no ebullición ($420^\circ\text{-}215^\circ\text{C}$) de fluidos menos salinos (0-20 wt % NaCl equiv.) datados en 22.7 a 21.9 Ma por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en adularia (Kontak y Clark, 2002). Se infiere que los fluidos ricos con Sn-Cu de baja temperatura y bajo pH, fueron canalizados a lo largo de zonas de cizalla, donde se mezclaron con agua subterránea fría no salina (Kontak y Clark, 2002). Junto con la neutralización de los fluidos por alteración hidrolítica, esta canalización dio como resultado una precipitación de casiterita botroidal y de cristales con maclas en codo, y posteriormente se depositó calcopirita (Kontak y Clark, 2002).

Respecto a la roca caja, se ha identificado diversos grados de metamorfismo en las pizarras, evidenciados por la presencia de minerales como andalucita en rocas con grado de metamorfismo menor y piroxeno en aquellas con mayor grado de metamorfismo. Se infiere que el granito se emplazó inicialmente como sills, luego se emplazó un cuerpo de mayor dimensión (stock) que desarrollo un enjambre de diques ($<1\text{m}$) que cortan los afloramientos de pizarra en las cotas superiores del nevado San Bartolomé de Quenamari.

La mineralización tiene un marcado zonamiento vertical con Pb-Ag en niveles altos, seguidos por Cu y debajo Sn. Respecto al control estructural se observan que en los bordes el intrusivo tiene buzamiento al W (sill) mientras que en el núcleo del intrusivo las venillas buzan al E. En general se asumen fallas NW-SE con buzamiento al este (dextrales?).

4.5.2. Proyecto Corani (Ag-Au)

Las rocas sedimentarias corresponden a intercalaciones de arenisca y lutita del Grupo Ambo que han sido débilmente metamorfizadas a cuarcitas y pizarras. Cubiertas por una secuencia pre mineral Terciaria (22.1 ± 0.2 Ma) que está constituida en la base por tufos de cristales (predominando sobre líticos) con ojos de cuarzo ($>5\text{mm}$) y en la parte superior se observan lavas andesíticas. Finalmente esta secuencia pre mineral es cubierta por tufos de cristales Terciarios (10.2 ± 0.1 Ma) post minerales (estériles).

La mineralización económica de Ag identificada en el distrito de Corani se hospeda en la secuencia volcánica temprana (22.1 ± 0.2 Ma). La alteración es amplia y se extiende en una zona de $5 \times 2\text{km}$, se ha reportado la presencia de celadonita, illita, caolinita, esmectita y clorita; además de minerales ganga incluyendo cuarzo (masivo a bandeado), baritina, calcedonia, óxidos de hierro y manganeso.

Se han diferenciado tres áreas mineralizadas que exhiben ensambles de alteración particulares:

- **Corani Este:** Abundante baritina con menor presencia de cuarzo y calcedonia, moderada ocurrencia de esmectita-clorita-celedonita, brechas y abundante oxidación de hierro sin presencia de óxidos de manganeso.
- **Minas Corani:** Abundante esmectita-clorita-celedonita, moderada ocurrencia de calcedonia y baritina con abundantes óxidos de hierro y moderada presencia de óxidos de manganeso.
- **Main Corani:** Cuarzo bandeado, abundante baritina, óxidos de hierro y menor presencia de óxidos de manganeso.

En términos generales, Corani estructuralmente está controlado por una secuencia de fallas normales lístricas con orientación predominante N a N-NW y buzamiento al W (50 a 10°). El techo se encuentra muy fracturado, siendo favorable para albergar a mineralización.

La mineralización se presenta en venas, brechas y stockworks; el ensamble mineral comprende freibergita, galena (no argentífera), esfalerita, pirita, marcasita y sulfosales de plata (mirargirita, pirargirita-proustita), boulangerita, acantita y plata nativa. Morán (2005) describe una zonación de la mineralización a lo largo de las estructuras principales, en el norte se tiene predominantemente Pb y Ag, en el sector central se incrementa el contenido de Au con mucho menos Ag y hacia el sur se incrementan las venillas de Sb con menor contenido de Au.

V. GEOLOGÍA LOCAL

5.1. LITOLOGÍA

5.1.1. Estratigrafía

Las unidades litológicas metamórficas, sedimentarias y volcanoclásticas identificadas en Santo Domingo van desde el Paleozoico (Siluriano) hasta el Mesozoico (Triásico), correspondiendo desde la formación Ananea hasta el Grupo Mitu (Figura 18 y Figura 19).

5.1.1.1. Formación Ananea

Rocas de edad Siluro-Devoniano (López, 1996) que afloran principalmente en la quebrada Ccasahuallata y al este de la quebrada Antuyuta.

Las rocas corresponden a una secuencia de pizarras y filitas gris oscuro, ocasionales capas (5cm) de arenisca están intercaladas con filita (Figura 20). La filita presenta una foliación bien marcada y se puede notar localmente plegamiento y presencia de fallas de muy bajo ángulo.

No se observa la base de la formación Ananea, pero de acuerdo a la perforación diamantina se estima una potencia mínima de 600m.

Al parecer el contacto superior entre la Fm. Ananea y el Gpo. Ambo es normal, sin embargo no se diferenció en campo.

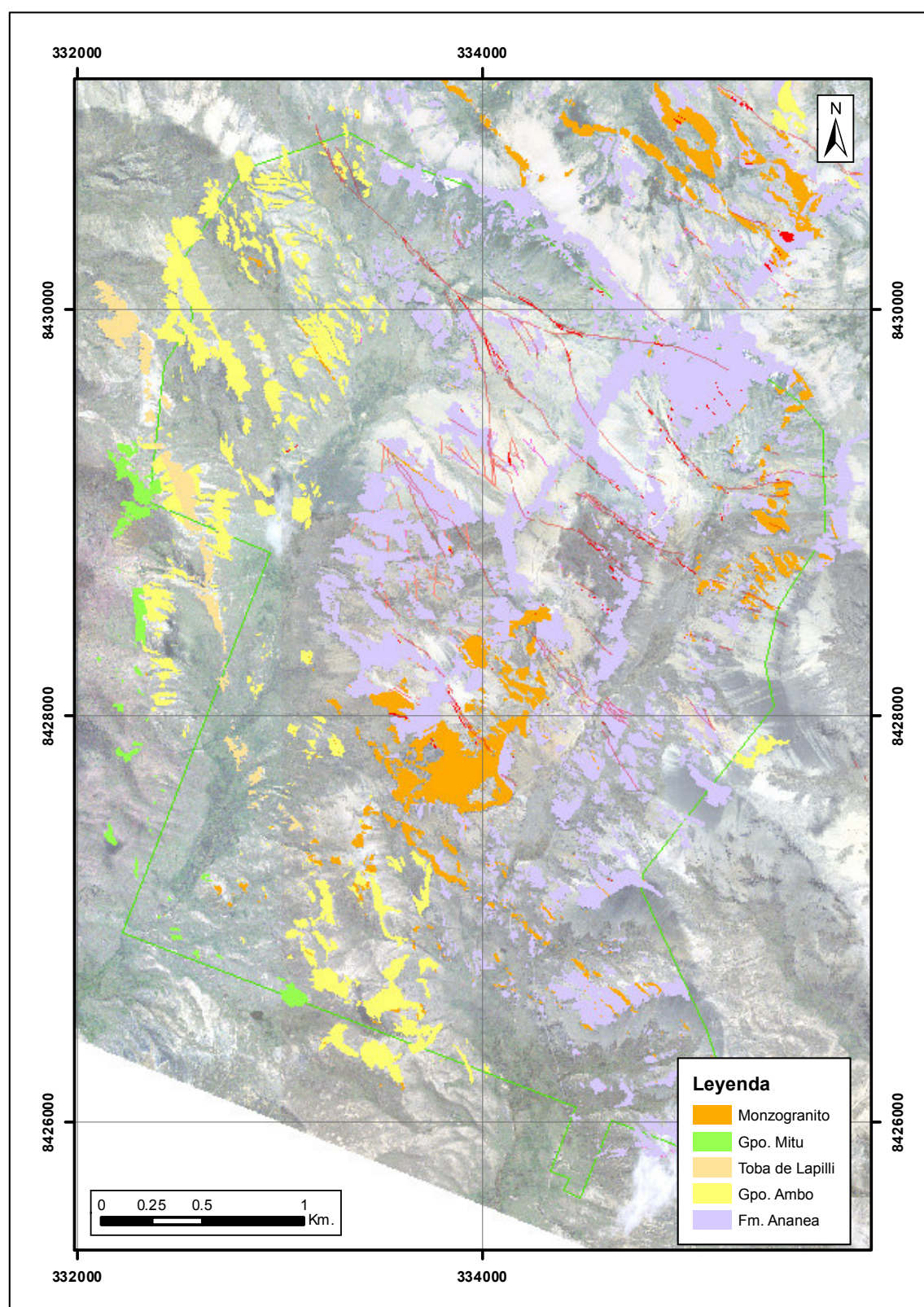


Figura 18: Geología local del proyecto Santo Domingo

Fuente: Minsur S.A., 2015


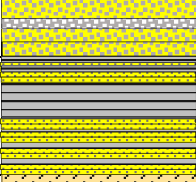
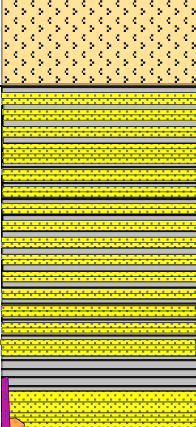
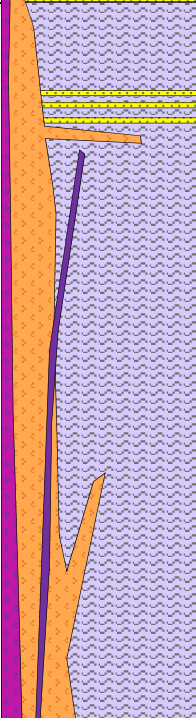
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	POTENCIA (m)	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	UNIDADES		DESCRIPCIÓN
MESOZOICA	TRIÁSICO	INFERIOR	>150		Gpo. Mitu	Volcánico	<ul style="list-style-type: none"> - Andesitas porfíricas rojizas. - Andesitas de grano fino grises a violáceas.
						Sedimentario	<ul style="list-style-type: none"> - Areniscas grano medio a grueso y conglomerados.
	PERMIANO	SUPERIOR	50		Gpo. Ambo	Secuencia Superior	<ul style="list-style-type: none"> - Miembro 3: Intercalaciones de areniscas finas beige y lutitas grises. - Miembro 2: lutitas negras. - Miembro 1: Intercalaciones de areniscas finas beige y lutitas grises.
			100			Toba de Lapilli	<ul style="list-style-type: none"> - Toba de lapilli riódacítica con matriz terrosa (tipo ceniza) blanca que envuelven cristales de QZ y BT.
			80				
PALEOZOICA	CARBONÍFERO		300		Gpo. Ambo	Secuencia Inferior	<ul style="list-style-type: none"> - Intercalaciones de areniscas color beige y lutitas de color gris a negras (5cm – 2m). - Arenisca blanquecina de grano medio a grueso (30cm) sobre arenisca gris de grano fino (10cm).
	SILURIANO		>600		Fm. Ananea		<ul style="list-style-type: none"> - Pizarras y filitas grises intercaladas con areniscas de 5cm. - Pizarras y filitas grises con marcada foliación y ocasionales plegamientos. - Intrusión de cuerpos, diques y sills monzograníticos, intruído por diques de lamprófidos.

Figura 19: Columna estratigráfica local del proyecto Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

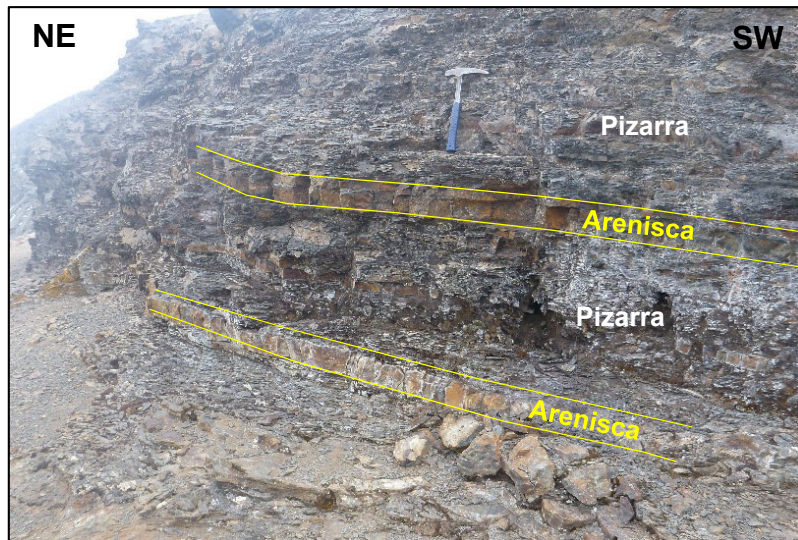


Figura 20: Afloramiento de la formación Ananea

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.2. Grupo Ambo

Este grupo de edad Carbonífera está compuesto principalmente por intercalaciones de arenisca beige y lutita gris a negra. Los afloramientos se encuentran en ambas márgenes de la quebrada Antuyuta.

El Gpo. Ambo ha sido diferenciado en dos secuencias, son divididas por un nivel de toba de lapilli riodacítica.

- Secuencia Inferior

La base de la secuencia inferior está compuesta por estratos de arenisca gris de grano medio subhorizontales que sobreyacen a arenisca blanquecina de grano medio a grueso (Figura 21a).

Hacia el tope de la secuencia afloran intercalaciones de arenisca color beige y lutita de color gris a negra. Los estratos pasan de espesores de algunos centímetros hasta de 1 a 2 metros. Los estratos buzcan hacia el NW, con buzamientos al piso de 60° y hacia el techo de 40°. Se observan niveles fosilíferos con braquiópodos, que también identifica López (1996) (Figura 21b).

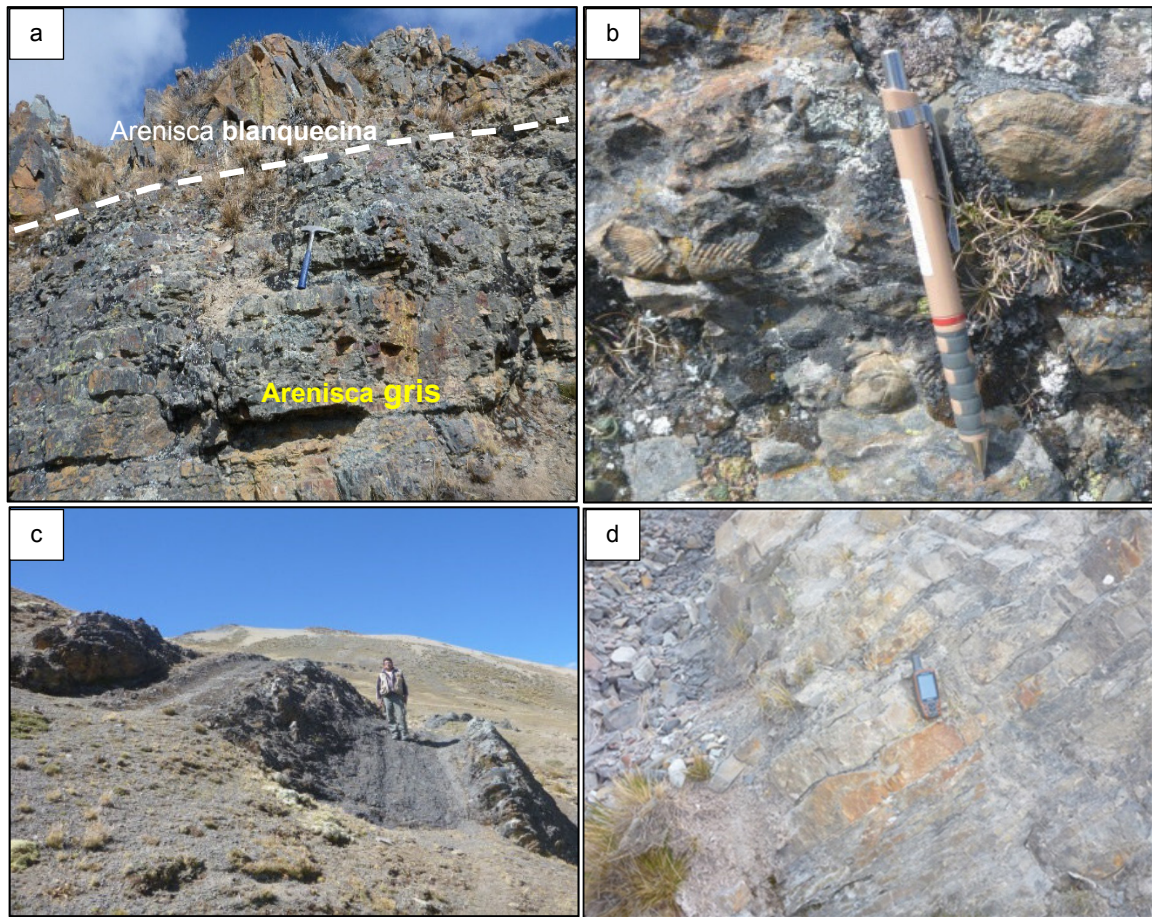


Figura 21: Afloramientos de la secuencia inferior del grupo Ambo

Fuente: Alayza, 2015

En donde: **a)** Sucesión entre arenisca gris de grano fino y arenisca blanquecina de grano medio a grueso, base de la secuencia inferior del Gpo. Ambo. **b)** Nivel de arenisca con presencia de braquiópodos. **c y d)** Niveles de arenisca intercaladas con lutita de potencias menores a 1m.

- Toba de lapilli riódacítica

Nivel de vulcanismo extrusivo compuesto de una toba de lapilli riódacítica, que se encuentra concordante a las unidades sedimentarias de las secuencias inferior y superior del Gpo. Ambo.

La toba tiene rumbo NW con buzamiento de 40°-45° en promedio. Esta roca presenta matriz terrosa (tipo ceniza) blanca que envuelve cristales de QZ y BT. Se observan niveles de deposición de cenizas y disyunción columnar.

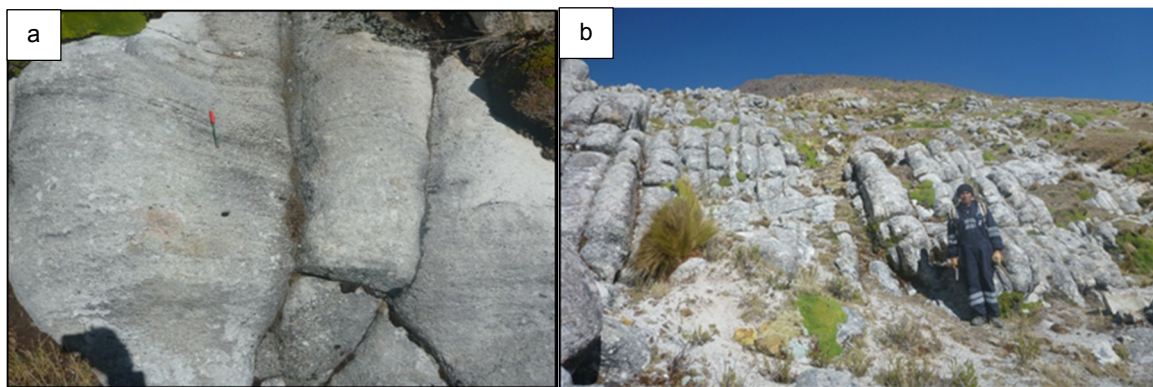


Figura 22: Afloramientos del nivel de toba de lapilli riodacítica

Fuente: Alayza, 2015

En donde: **a)** Niveles de deposición de la toba de lapilli riodacítica. **b)** Disyunción columnar.

- **Secuencia Superior**

Esta secuencia se encuentra concordante a la toba de lapilli riodacítica. Se distinguen 3 miembros (Figura 23), descritos de base a tope:

- a)** Al piso se tiene una secuencia de arenisca de grano fino beige intercalada con niveles finos de lutita gris;
- b)** Al centro se tiene una secuencia de lutita negra con finas intercalaciones de arenisca;
- c)** Al tope se tiene una secuencia de arenisca de grano fino beige intercalada con niveles finos de lutita gris similar al miembro del piso.

Los estratos en general tienen espesores centimétricos (< 40cm). Los estratos buzan hacia el NW, con buzamientos al piso de 40°. No se observaron fósiles.

López, J. (1996) en el boletín n°74 de INGEMMET, propone que esta secuencia de ambiente continental (arenisca y lutita), podría estar relacionado a litofacies clásticas del Grupo Tarma.



Figura 23: Afloramientos de la secuencia superior del grupo Ambo

Fuente: Alayza, 2015

5.1.1.3. Grupo Mitu

El grupo Mitu, de edad Permo-Triásica, se caracteriza por la presencia de niveles sedimentarios silicoclásticos subyaciendo a niveles volcánicos andesíticos (Figura 25). El contacto con el Gpo. Ambo es una discordancia angular (Figura 25). Los afloramientos se ubican al oeste de la quebrada Antuyuta.

- Secuencia sedimentaria Mitu

El piso de esta secuencia se compone de arenisca de coloración variada (roja, pardo, verde) de grano medio a grueso y con presencia de niveles conglomerádicos. Los conglomerados están compuestos de una matriz arenosa soportando clastos subredondeados a redondeados de arenisca y caliza (Figura 24a).

- Secuencia volcánica Mitu

La secuencia volcánica sobreyace a la secuencia silicoclástica. En la base se tienen niveles volcánicos andesíticos finos de colores grises a violáceos y sobre ellos volcánicos andesíticos porfiríticos rojizos. Se identificaron rocas rodadas de un volcánico máfico, probablemente diabasa (Figura 24b).

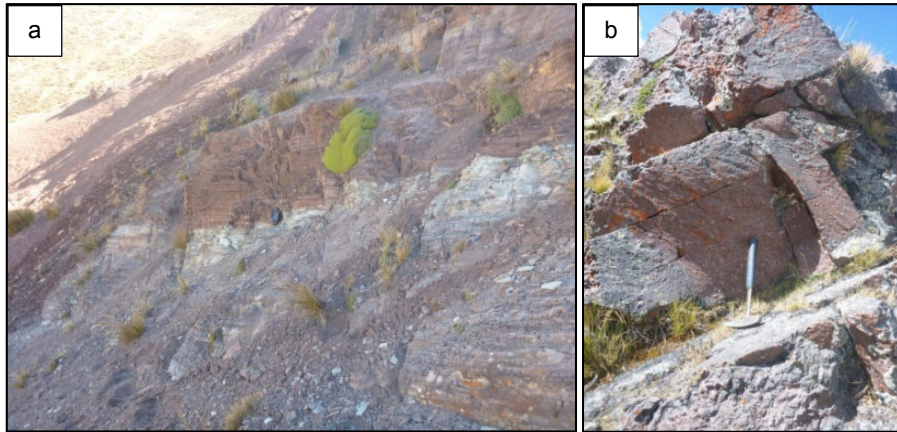


Figura 24: Afloramientos del grupo Mitu

Fuente: Alayza, 2015

En donde: **a)** Niveles de areniscas ferruginosas rojizas. **b)** Niveles de andesita porfírica rojiza del Gpo. Mitu.



Figura 25: Vista panorámica desde la quebrada Antuyuta a los contactos litológicos

Fuente: Alayza, 2015

5.1.2. Rocas Ígneas

La actividad ígnea en el proyecto Santo Domingo está evidenciada por el stock monzogranítico hacia el sector suroeste, diques al norte y noreste, sills hacia el este y volcánicos al oeste. Los cuerpos intrusivos cortan a la secuencia de pizarras de la Fm. Ananea y a la base del Gpo. Ambo, mientras que las rocas volcánicas pertenecen al Gpo. Mitu.

5.1.2.1. Stock Monzogranítico

La zona central y oeste de la quebrada Ccasahuallata expone un stock monzogranítico porfirítico a cordierita (peraluminoso) de 1,200 x 550m con orientación NW-SE.

El stock monzogranito presenta textura porfirítica, la composición es de “ojos de cuarzo” (<20%), fenocristales (<8cm) idiomórficos de feldespato potásico (<30%), fenocristales idiomórficos a subidiomórficos (<1cm) de plagioclasa (<30%), los minerales accesorios como la cordierita y biotita tienen porcentajes variables hasta un 10%.

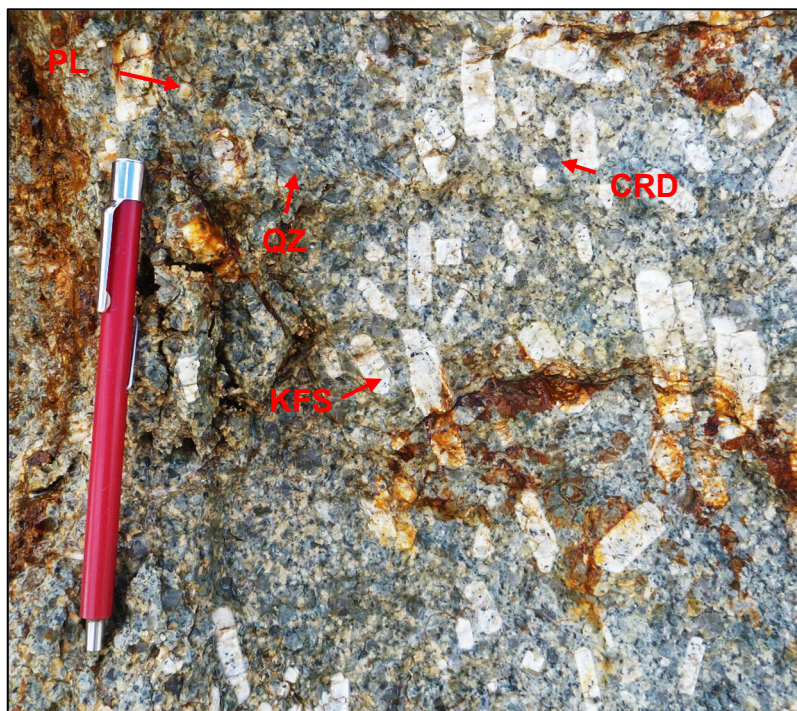


Figura 26: Stock monzogranítico porfirítico

Fuente: Elaboración propia

En donde: **QZ**: cuarzo, **KFS**: feldespato potásico, **PL**: plagioclasa, **CRD**: cordierita.

Al sur del proyecto Santo Domingo aflora un dique monzogranítico estéril de dirección N305, con longitud de 1.7km y espesor menor a 15m. Este dique representa el límite de la mineralización económica en el proyecto Santo Domingo.

El dique monzogranítico fue datado por el método de K-AR en biotita (Palma, 1981) dando una edad de 24.3 ± 0.6 Ma. Dos microgranitos, al sur y norte del proyecto Santo Domingo, fueron datados por el método de K-Ar en biotita (Kontak et al., 1987) con edades de 26.1 ± 0.6 Ma (sur) y 23.1 ± 0.7 Ma (norte). Las tres dataciones sugieren un tiempo de emplazamiento de las rocas intrusivas de 2MA (Kontak et al., 1987).

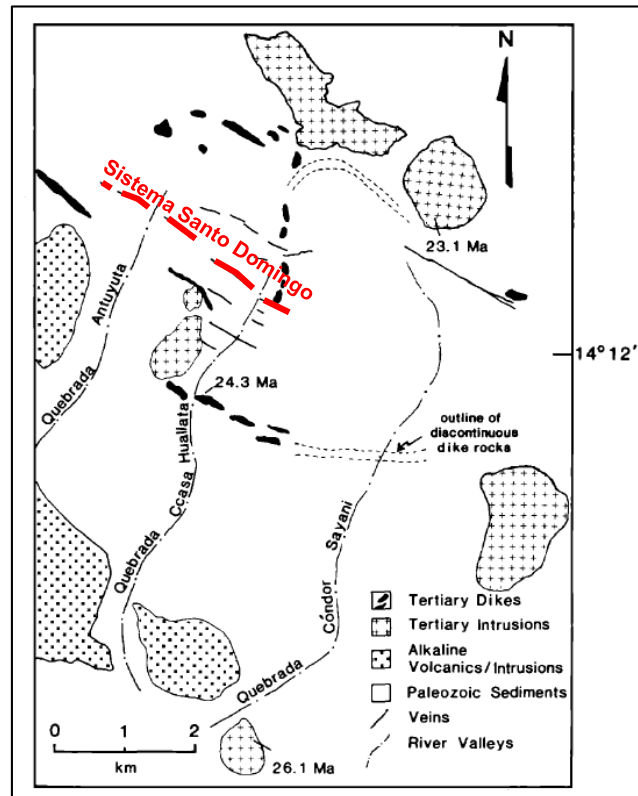


Figura 27: Esquema geológico del proyecto Santo Domingo

Fuente: Kontak et al., 1987

5.1.2.2. Diques y sills monzoníticos

Al noreste de la quebrada Ccasahualata, afloran diques y sills monzoníticos-cuarzomonzoníticos con orientación de N230-350 y buzamientos entre los 5° y 30° .

Las rocas monzoníticas presentan una textura equigranular de grano medio y ocasionalmente porfirítica, la composición es de cuarzo ($<10\%$), feldespato potásico ($<40\%$) que puede presentarse en fenocristales subidiomórficos ($<5\text{cm}$),

fenocristales subidiomórficos a idiomórficos (<1cm) de plagioclasa (40%), la biotita es más abundante de que la cordierita llegando hasta el 20%.

Los sills están emplazados en la pizarra, en su mayoría son cortados por vetas y estructuras de los sistemas Santo Domingo y San Basilio. Los diques intruyen tanto a la pizarra como al stock monzogranítico (Figura 28).

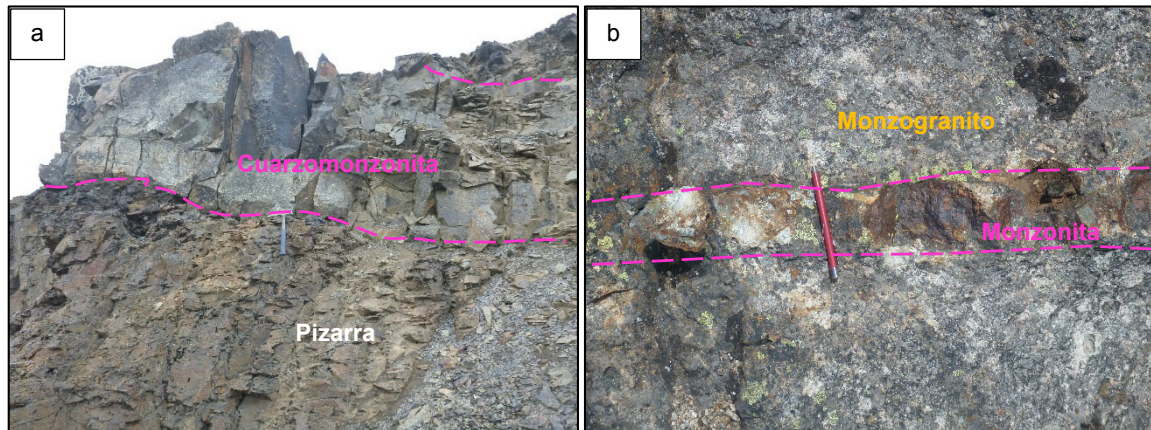


Figura 28: Emplazamiento de cuerpos monzoníticos

Fuente: Elaboración propia

En donde: **a)** Sill (N310/17°) de cuarzomonzonita porfirítica con fenocristales de feldespato potásico de hasta 3cm emplazado en pizarras. **b)** Dique monzonítico (N295/80°) intruyendo al stock monzogranítico.

5.1.2.3. Diques lamprófidos

Aflora al extremo NE del stock monzogranítico, tiene una orientación de N320 con buzamiento de 75°. Tiene una extensión de 350m con un ancho máximo de 3.5m. Vallance (2014a) determina al dique lamprófido como una mineta, con textura fanerítica de grano fino, compuesta por más de 50% de biotita, esporádicos ojos de cuarzo, no se observa fenocristales de plagioclasa.

El dique de mineta intruye a las pizarras Ananea y al stock monzogranítico en zona de cumbre.

5.1.3. Brechas

Las brechas, con o sin presencia de mineralización, están asociadas a los sistemas de vetas e intrusiones magmáticas. Las brechas son clasificadas en:

5.1.3.1. Brecha jigsaw

Brecha monomítica y clasto soportada, sin movimiento o rotación de los fragmentos. Esta brecha se desarrolla frecuentemente en la pizarra, presenta matriz de clorita o cuarzo, ocasionalmente calcita y pirrotita, los fragmentos no presentan alteración hidrotermal.

En la Figura 29 se muestra una brecha jigsaw en pizarra, con matriz clorita-cuarzo-pirrotita. Brecha a los 404.60m en el sondaje SDO025_15 del sistema Santo Domingo.

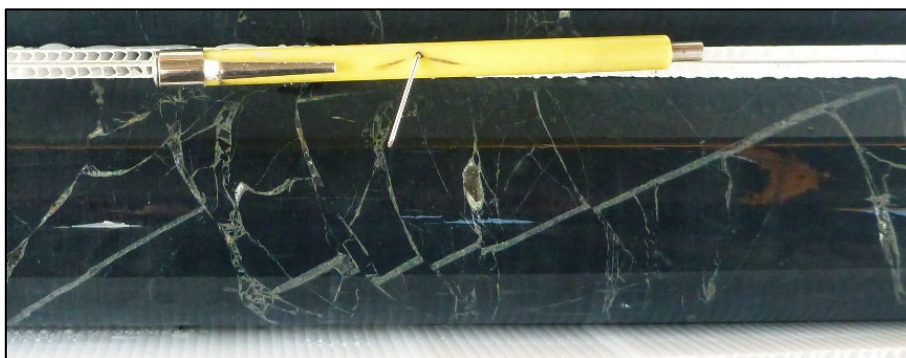


Figura 29: Brecha jigsaw

Fuente: Minsur S.A., 2015

5.1.3.2. Brecha craquel

Brecha monomítica y clasto soportado, con débil movimiento o rotación de los fragmentos. Esta brecha se desarrolla en los cuerpos intrusivos y pizarra, los fragmentos son angulosos y subangulosos, matriz de cuarzo o clorita, polvo de roca y sulfuros (pirita, pirrotita, esfalerita), los fragmentos no presentan alteración hidrotermal.

En la Figura 30a se muestra una brecha craquel en pizarra, con matriz clorita-arsenopirita-pirrotita-calcopirita. Brecha a los 371.45m en el sondaje SDO005_15 del sistema Santo Domingo.

En la Figura 30b se muestra una brecha craquel clasto soportada con clastos angulosos de monzogranito con matriz de cuarzo y óxidos.

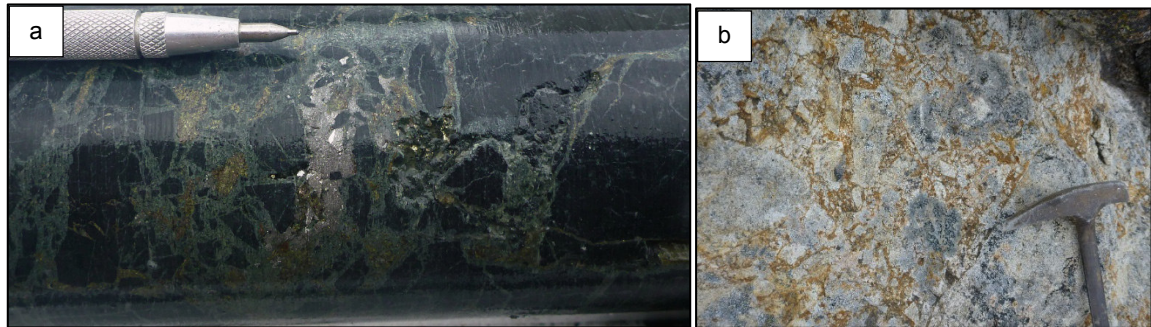


Figura 30: Brecha craquel

Fuente: Minsur S.A., 2015

5.1.3.3. Brecha intrusiva (de contacto)

Brecha polimíctica de matriz soportada, con clastos subangulosos centrimétricos (<20cm) de pizarra y localmente de monzogranito. El cemento de la brecha es monzogranítica y de mineralogía similar al cuerpo principal.

En la Figura 31 se muestra una brecha de contacto con matriz de monzogranito con clastos angulosos a subangulosos de pizarra, fuerte presencia de venillas (N280/66°) <2cm de cuarzo blanco que corta a la brecha, en la bocamina de la galería 655N del sistema Ccasahuallata.

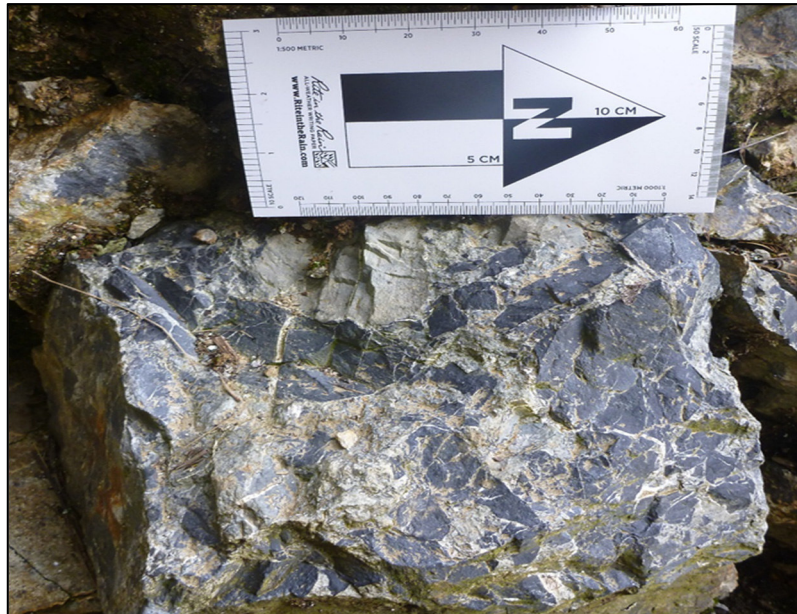


Figura 31: Brecha de contacto

Fuente: Minsur S.A., 2015

5.1.3.4. Brecha Hidrotermal

Brecha monomíctica o polimíctica, de matriz soportada en su mayoría, con de matriz de clorita, cuarzo, sulfuros o casiterita, los fragmentos son subangulosos a subredondeados con moderada a fuerte alteración clorítica, silicificación o turmalinización.

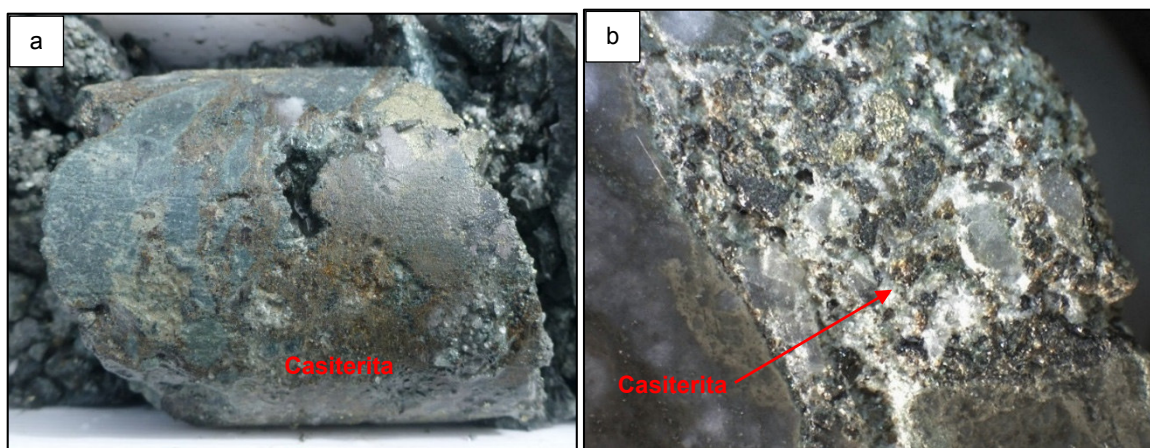


Figura 32: Brecha hidrotermal

Fuente: Minsur S.A., 2015

En la Figura 32a, se muestra una brecha hidrotermal con matriz de clorita-casiterita-calcopirita-arsenopirita-pirita-esfalerita, fragmentos subangulosos cloritizados. Brecha a los 382.40m del sondaje SDO028_15 en el sistema Pucará.

En la Figura 32b, se muestra una brecha hidrotermal con matriz cuarzo-turmalina-casiterita-clorita-pirita-arsenopirita. Brecha a los 665.75m del sondaje SDO020_14 en el sistema Santo Domingo.

5.2. MINERALIZACIÓN

La mineralización en el proyecto Santo Domingo se encuentra hospedada en 5 sistemas de vetas, llamadas de SW a NE, Ccasahuallata, Pucará, Santo Domingo, San Basilio, y Rita. La orientación de los sistemas de vetas es andino NW-SE con buzamientos al SW y NE.

Se consideró como sistema de vetas al alineamiento de vetas, vetillas, fracturas rellenas y brechas, debido a discontinuidad e irregularidad de estas. Las estructuras son irregulares y discontinuas cuando la roca caja es la pizarra, son más definidas y continuas en los cuerpos ígneos.

5.2.1. Sistema Ccasahuallata

El sistema Ccasahuallata fue reconocido longitudinalmente en superficie en 1.5km desde el este de la quebrada Ccasahuallata hasta el este de la quebrada Antuyuta, la extensión vertical fue reconocida 700m mediante perforación diamantina. El sistema tiene un rumbo preferencial de N135 con buzamiento promedio de 70°NE.

La potencia de las estructuras mineralizadas varían desde 0.10 a 0.40cm con longitudes de hasta 100m, las estructuras están emplazadas en las pizarras Sandia, pasando por el cuerpo monzogranítico sin llegar a evidenciarse en el Gpo. Ambo.

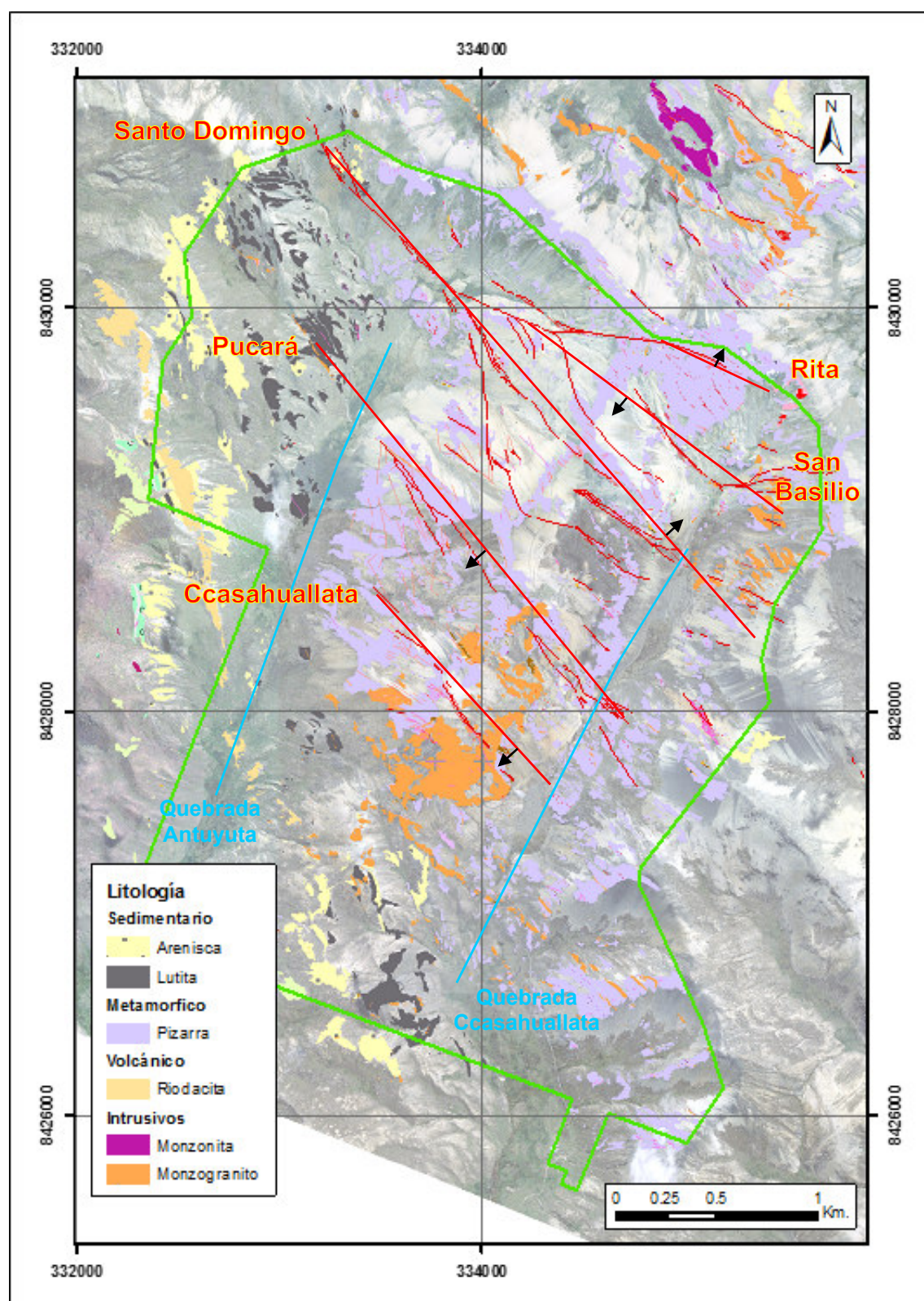


Figura 33: Esquema geológico de los sistemas de vetas

Fuente: Minsur S.A., 2015

El contacto entre el stock monzogranítico con la pizarra Ananea es una brecha sin mineralización. La brecha es matriz soportada con clastos subangulosos centimétricos (<20cm) de pizarra y localmente de monzogranito (Figura 34). El cemento de la brecha es monzogranítica de mineralogía similar al cuerpo principal. El límite de la brecha de contacto con el cuerpo de monzogranito principal podría ser mediante una falla, el límite es abrupto pero no necesariamente rectilíneo (Figura 34). El contacto con la pizarra es en general fallado.

La formación de la brecha es interpretada como la secuencia de varios episodios sucesivos de subida de magma a lo largo de una misma zona de falla. La presencia de clastos de monzogranito en una matriz de misma naturaleza lo confirma, e indica además solidificación casi total del magma entre dos episodios de inyección, Vallance (2014c).

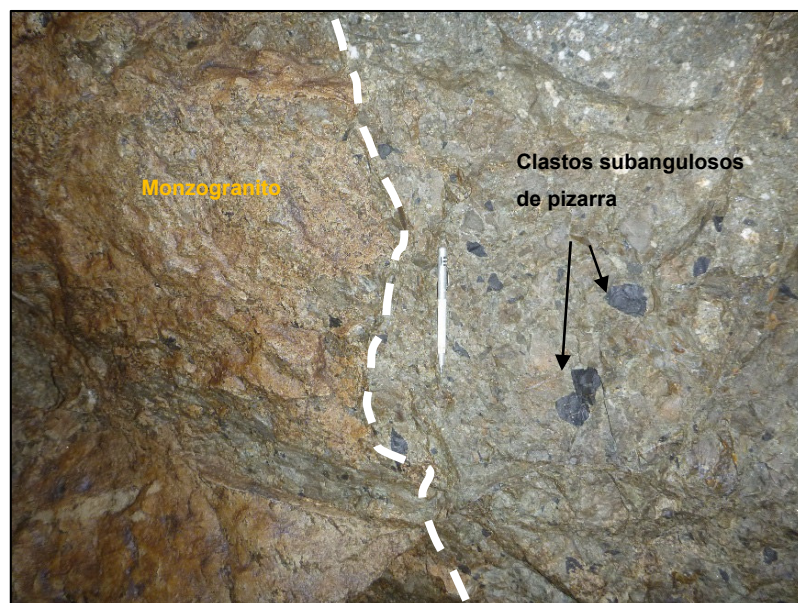


Figura 34: Brecha intrusiva y su relación con el stock monzogranítico en la galería 655

Fuente: Vallance, 2014c

La estructura mineralizada ha sido observada pasando por el monzogranito, la brecha intrusiva y el contacto brecha intrusiva-pizarra o monzogranito-intrusivo. La estructura mineralizada alcanza su mejor desarrollo en el monzogranito y presenta

esencialmente esfalerita con alteración a clorita de la roca de caja, sobre una distancia inferior a 5cm.

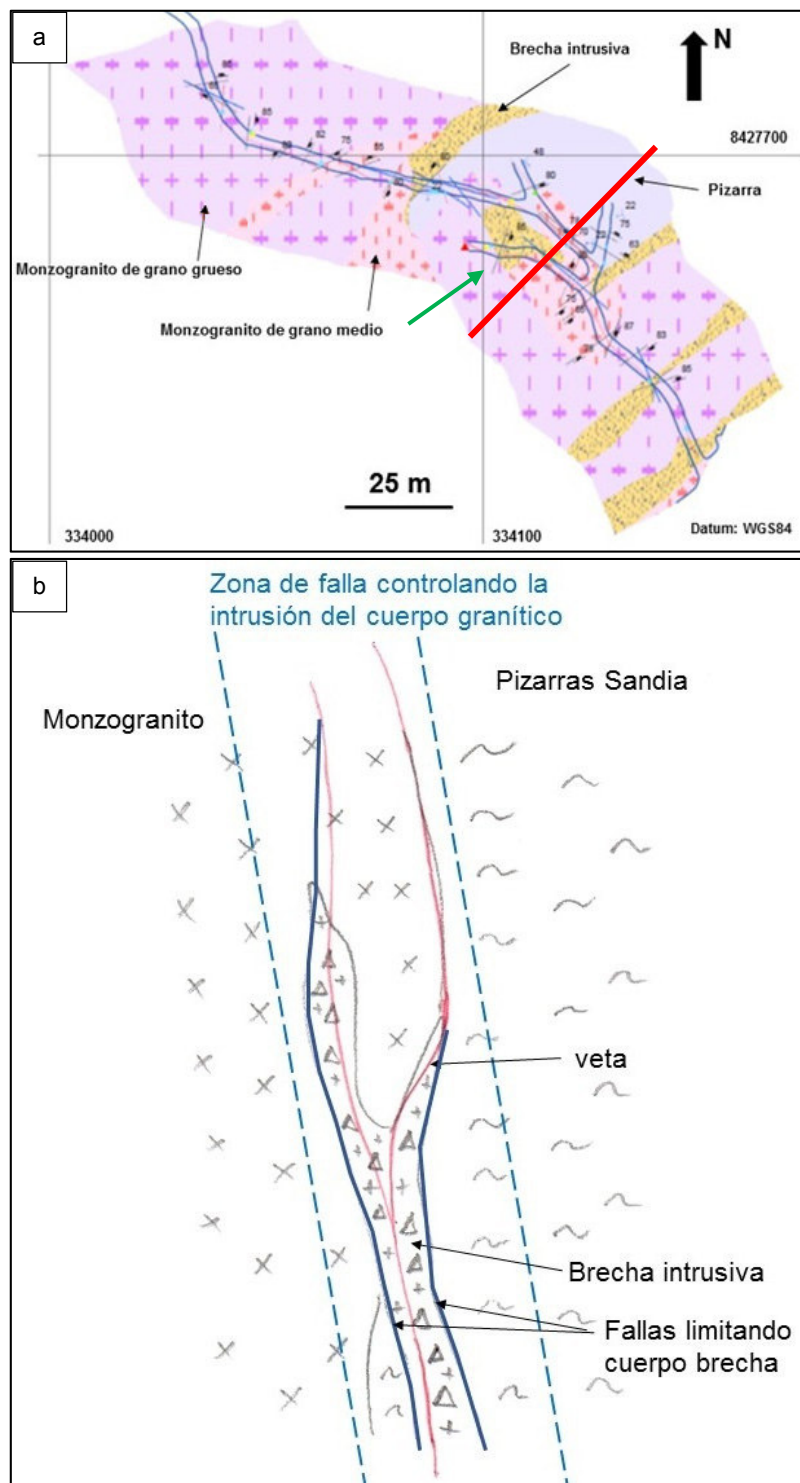


Figura 35: Geología del sistema Ccasahuallata en la galería 655

Fuente: Vallance, 2014c

En donde: **a)** Mapa geológico del sistema Ccasahuallata en el nivel 655. La línea roja indica la ubicación de la sección presentada en b. **b)** Sección esquemática de las relaciones entre el intrusivo, la brecha intrusiva y el sistema Ccasahuallata en la galería 655.

La flecha verde en la Figura 35a indica una zona donde la veta presenta esfalerita, calcopirita, clorita y anomalía de Sn. En este lugar se puede observar que el plano de la veta está bien marcado al piso, mientras se desarrolla una fracturación más difusa, tipo stockwork al techo.

El sistema Ccasahuallata está controlada por una zona de falla, de rumbo andino, que controló primero la ascensión del magma monzogranítico, incluyendo los cuerpos de brecha intrusiva (Vallance, 2014c).

5.2.2. Sistema Pucará

El sistema Pucará superficialmente fue reconocida en 2.5km desde el este de la quebrada Ccasahuallata hasta el oeste de la quebrada Antuyuta, verticalmente fue reconocida en 500m mediante perforación diamantina, tiene un rumbo preferencial de N135 con buzamiento promedio de 70°SW.

Las estructuras mineralizadas tienen un ancho promedio en pizarras de 0.10m y en el stock monzogranítico de 0.30m, presenta longitudes de hasta 100m, existen estructuras importantes con rumbo N315 con buzamiento de 75°NE.

El sistema Pucará está emplazado en las pizarras Sandia, al este de la quebrada Ccasahuallata, corta al stock monzogranítico y sigue el alineamiento del dique monzonítico al oeste de la quebrada Antuyuta.

Hacia el este de la quebrada Ccasahuallata, el sistema Pucará está limitado por una falla de rumbo N20 que es paralela al eje de la quebrada (Figura 36). Esta falla también limita al sistema Ccasahuallata.

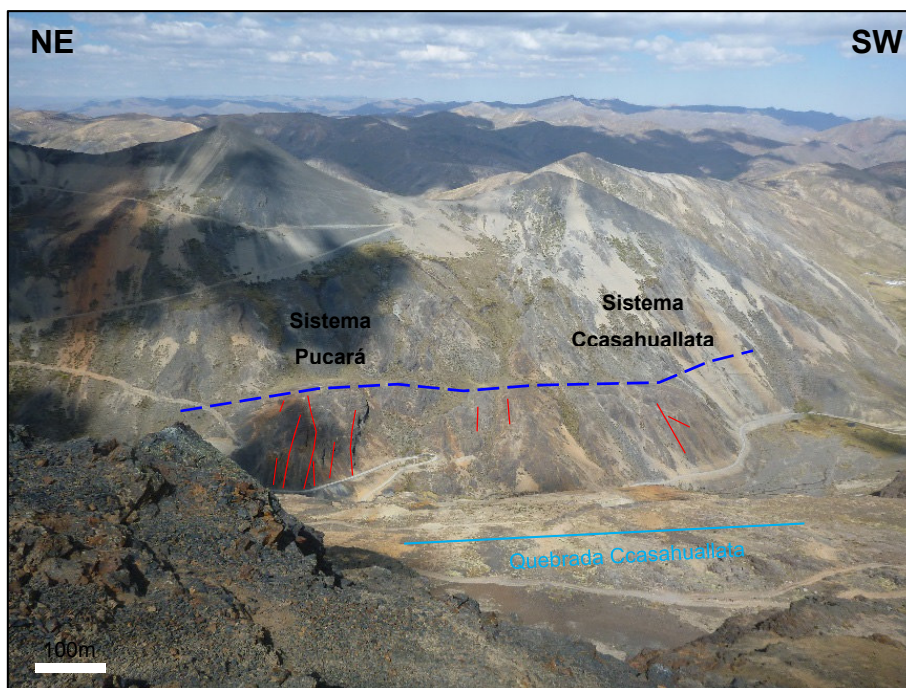


Figura 36: Falla que limita a los sistemas Ccasahuallata y Pucará.

Fuente: Elaboración propia

J. Vallance (2014c) describe la geología de las galerías 692 y 770, estas galerías se ubican al oeste de la quebrada Ccasahuallata.

A la entrada de la galería 692, la veta es una zona de falla bien marcada pero al avanzar se vuelve menos definida y se presenta como una serie de fracturas discontinuas y escalonadas con relleno centrimétrico de calcita y pirita. No se observa alteración hidrotermal de la caja. Aproximadamente a los 300 m de avance aparece una alteración hidrotermal a clorita de la caja de la veta, con los primeros valores de Cu y Sn, a pocos metros más aparece un cuerpo de monzogranito intruyendo a las pizarras (Figura 37).

Al acercarse del cuerpo granítico, aparece la alteración clorítica, las valores de Sn y Cu y se ensancha la estructura por mayor competencia de la roca magmática con respecto a las pizarras.

Las vetas del proyecto Santo Domingo están relacionadas a movimientos de fallas normales con ligeros componente de rumbo, dextral o sinistral siguiendo los casos, en base a estrías en espejo de falla. Es notable una verticalización de la estructura

por un cambio de rumbo al acercarse al granito, lo que explica la mayor abertura de la estructura en este último, al acomodar un movimiento normal sinistral.

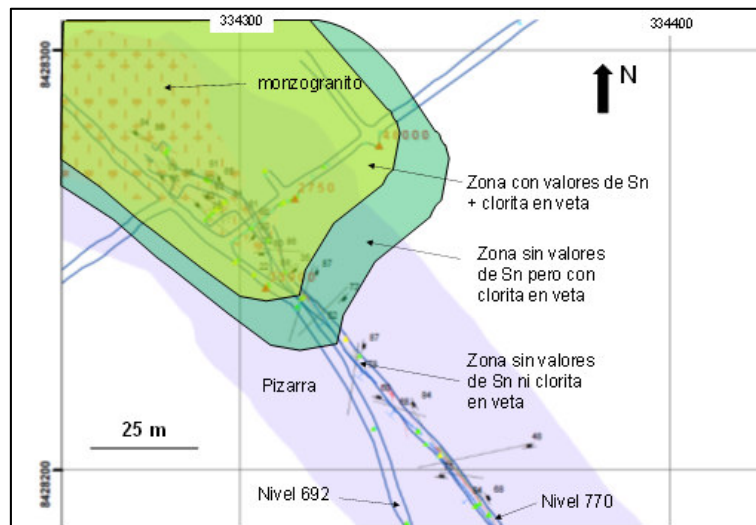


Figura 37: Plano geológico interpretativo de las galerías 692 y 770 en el sistema Pucará

Fuente: Vallance, 2014c

La formación de esta zona abierta, con fuerte permeabilidad ha permitido la ascensión de fluidos mineralizantes calientes generando anomalías de Cu y de Sn y cloritización. La débil permeabilidad de la zona fallada en pizarras no ha permitido esta ascensión, ni su extensión horizontal a partir del ducto preferencial en el cuerpo granítico, lo que explica la zonación a lo largo de la galería (Figura 37).

Las estructuras mineralizadas interceptadas en los sondajes diamantinos presentan una secuencia paragenética similar a San Rafael. La primera etapa consiste en la cristalización de casiterita, cuarzo y clorita; la segunda etapa de cristalización de arsenopirita-pirita; y una etapa tardía con relleno de calcita. En la Figura 38 se muestra una veta y el detalle de la mineralización de cuarzo-casiterita con posterior relleno de arsenopirita.

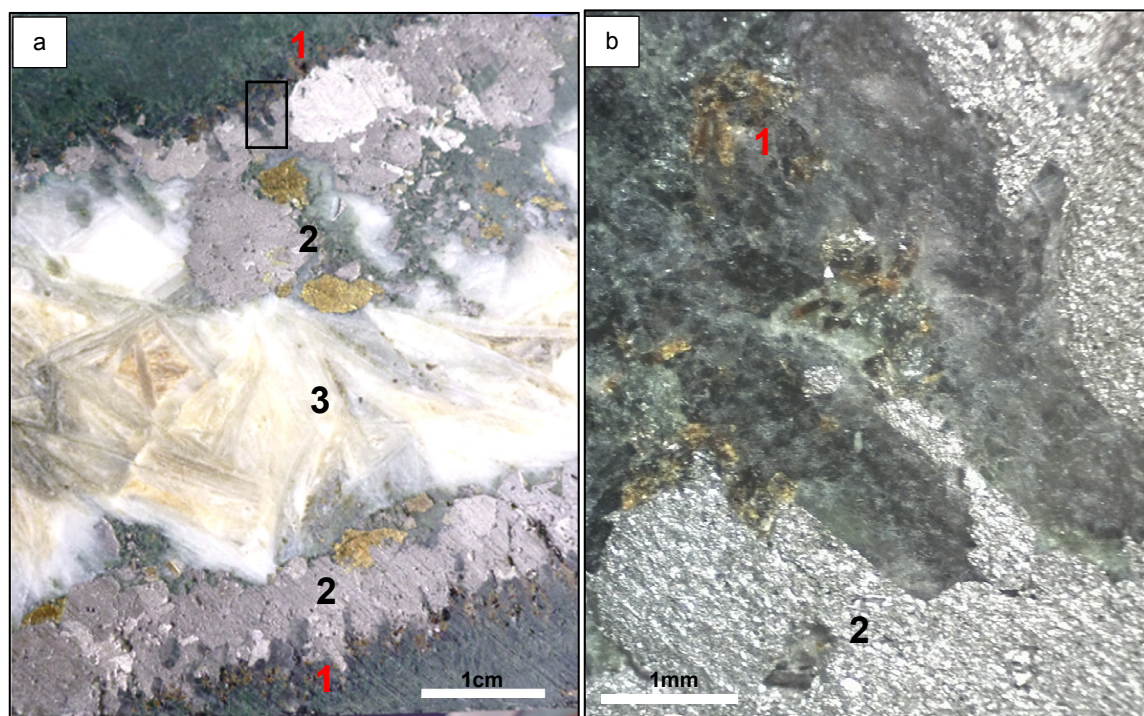


Figura 38: Veta de cuarzo-casiterita-sulfuros-calcita del sistema Pucará

Fuente: Elaboración propia

En donde: **a)** Veta de 4cm a los 287.90m del sondaje SDO022_15; **b)** Fotografía en detalle (x60) del rectángulo en la fotografía a. La numeración (1, 2 y 3) indica la secuencia de cristalización.

5.2.3. Sistema Santo Domingo

El sistema Santo Domingo superficialmente fue reconocido en 3.2km desde el este de la quebrada Ccasahuallata hasta el oeste de la quebrada Antuyuta, mediante perforación diamantina fue reconocido verticalmente en 900m, tiene un rumbo preferencial de N315 con buzamiento promedio de 65°NE.

La potencia de las estructuras mineralizadas varía desde 0.20 a 0.40m con longitudes de hasta 50m.

Al este de la quebrada Ccasahuallata el sistema está emplazado en sills monzoníticos, pasando por la pizarra Ananea hasta tener un débil afloramiento en la secuencia inferior del Gpo. Ambo (quebrada Antuyuta).

En el sector de la Quebrada Antuyuta, Vallance (2014c) identificó la geología de los primeros 100 metros de la galería 816.

La estructura está bien desarrollada en la entrada de la galería, por un espejo de falla (Figura 39a). El plano de falla, en pizarras Ananea, presenta estrías de fricción muy bien desarrolladas indicando un movimiento norma-sinestral. El ángulo de las estrías con la horizontal (“pitch”) es de 65° (Figura 39b) lo que indica que el componente normal ha sido más importante que el componente sinestral.

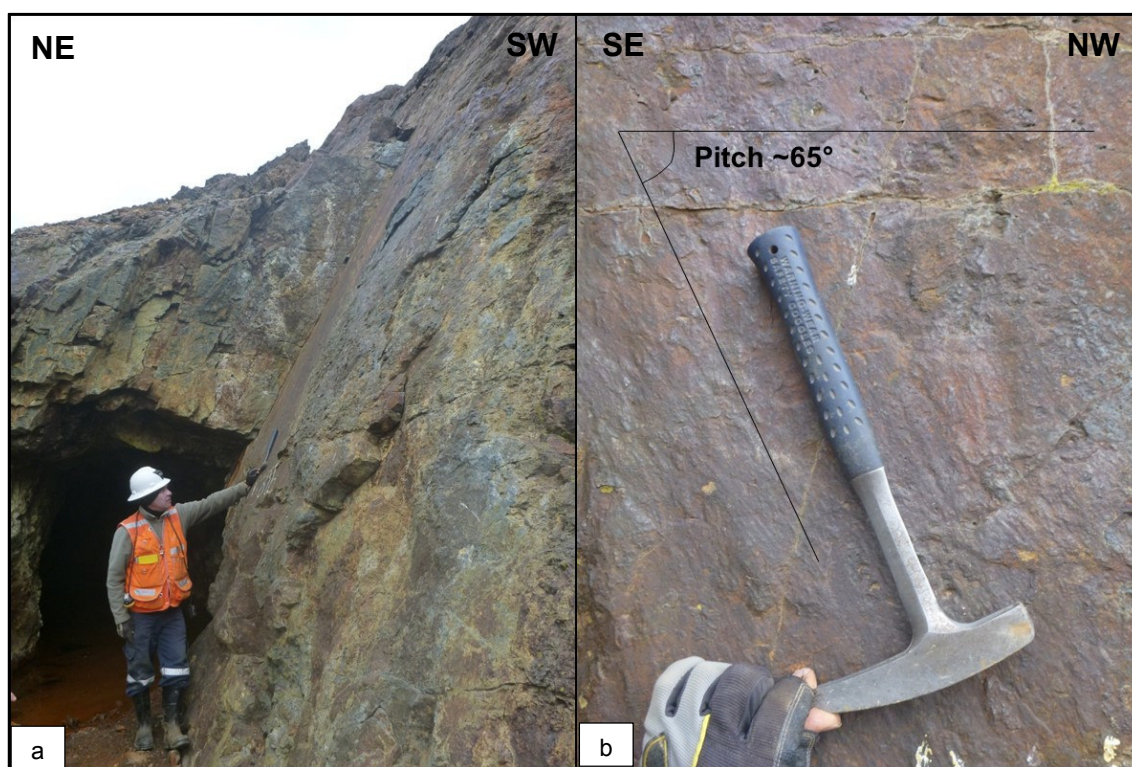


Figura 39: Bocamina de la galería 816

Fuente: Vallance, 2014c

En donde: **a)** Espejo de falla en la bocamina de la galería 816. **b)** Detalle del plano de falla. El mango de la picota indica la orientación de las estrías de fricción, que indican un movimiento normal-sinestral, con un componente normal > componente sinestral (“pitch” > 45°).

Si bien el plano de falla está bien definido, en la galería 816 no se nota un importante desarrollo de la veta en término de potencia, localmente en cambios de

rumbos o de buzamientos. Cuando la estructura se vuelve más vertical se nota abertura con deposición de piritita, calcopiritita, pirrotina y esfalerita en 30 a 40cm de potencia máxima, de acuerdo con el movimiento normal de la estructura. Valores importantes, cerca de 1%Sn han sido observadas solo puntualmente. Se observa una cloritización débil a muy débil de la roca de caja en esas zonas, en otros sitios está ausente.

En el cartografiado geológico y en la perforación diamantina de la campaña 2014-2015 se identificó un sector de brecha hacia la cresta con una extensión probable de 650 metros de largo, 200 metros de ancho y una potencia de 150 metros. Debido a la presencia de este sector, el sistema Santo Domingo fue dividido en tres sectores (Figura 40).

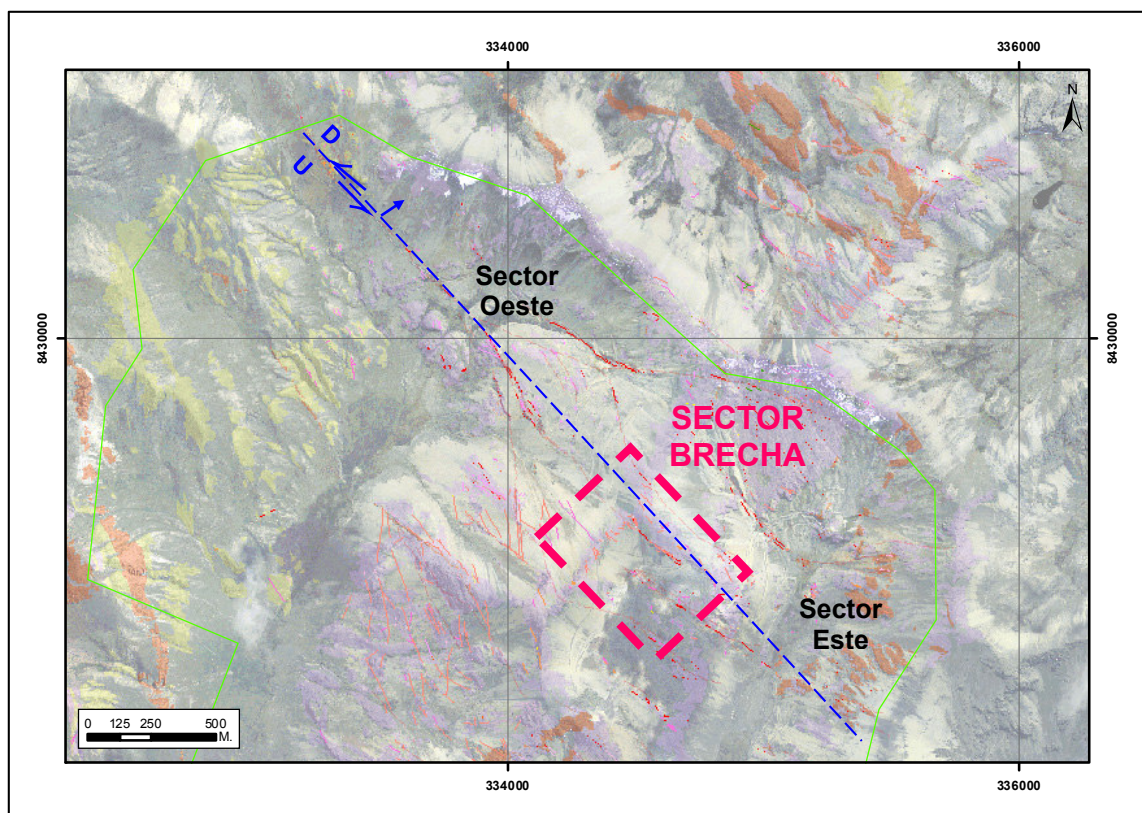


Figura 40: Sectores en el sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

Clark et al. (1983) reconoce el sistema Santo Domingo, indicando que es estructuralmente complejo y evidencia múltiples episodios de fracturamiento y

mineralización. Esto es reafirmado por Vallance (2015a) durante el estudio mineragráfico de muestras del sector Brecha (Figura 68).

El sondaje SDO020_14 se ubica en el sector Brecha, se interceptaron vetas y venillas con una secuencia de cristalización similar a la veta de la Figura 38. Primer evento cristalización de casiterita-cuarzo-clorita; segundo evento cristalización de pirita; y la última etapa cristalización de calcita en espacios vacíos (Figura 41).

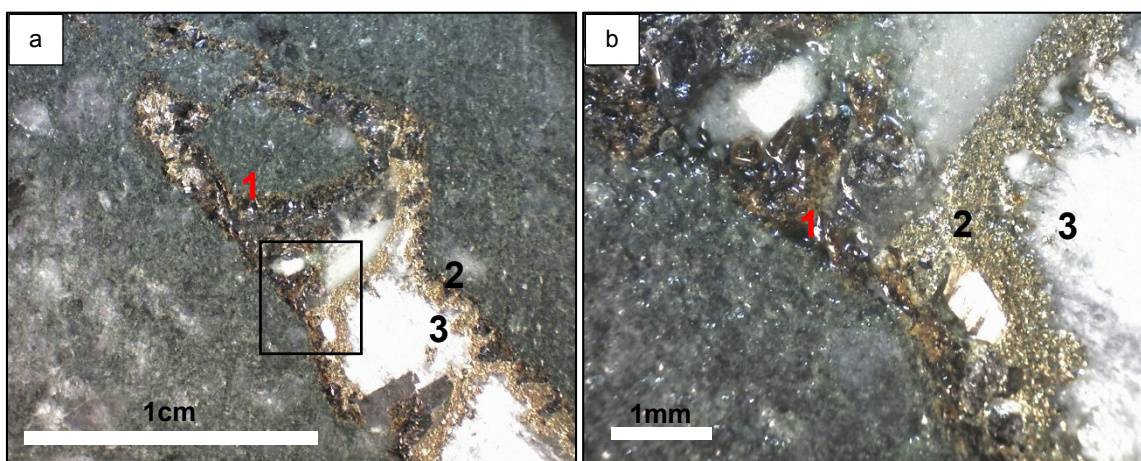


Figura 41: Venilla de cuarzo-clorita-casiterita-sulfuro-calcita del sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

En donde: **a)** Veta de 4cm a los 773.50m del sondaje SDO020_15; **b)** Fotografía en detalle (x10) del rectángulo en la fotografía a. La numeración (1, 2 y 3) indica la secuencia de cristalización.

5.2.4. Sistema San Basilio

El sistema San Basilio superficialmente fue reconocido en 1.5km desde el este de la quebrada Ccasahuallata hasta el oeste de la quebrada Antuyuta, mediante perforación se reconoció verticalmente en 350m, tiene un rumbo preferencial de N330 con buzamiento promedio de 70°SW.

La potencia de las estructuras mineralizadas varía desde 0.20 a 0.80m con longitudes de hasta 60m.

El sistema San Basilio, al igual que el sistema Santo Domingo, se emplaza en sills monzoníticos al este de la quebrada Ccasahuallata y en pizarra el resto del afloramiento.

Hacia el oeste de la quebrada Antuyuta, el sistema San Basilio tiene un rumbo WNW-ESE y buzamiento al SW, se infiere que los sistemas San Basilio y Santo Domingo se unen en profundidad. Inca Pacific S.A. perforó dos sondajes (SD01-02 y SD01-03) con la intención de llegar a la unión de los sistemas, pero los resultados no fueron los esperados.

Se observó que la estructura San Basilio tuvo un movimiento normal dextral, que lo hace una conyugada de la estructura Santo Domingo (Vallance, 2014c) (Figura 42).

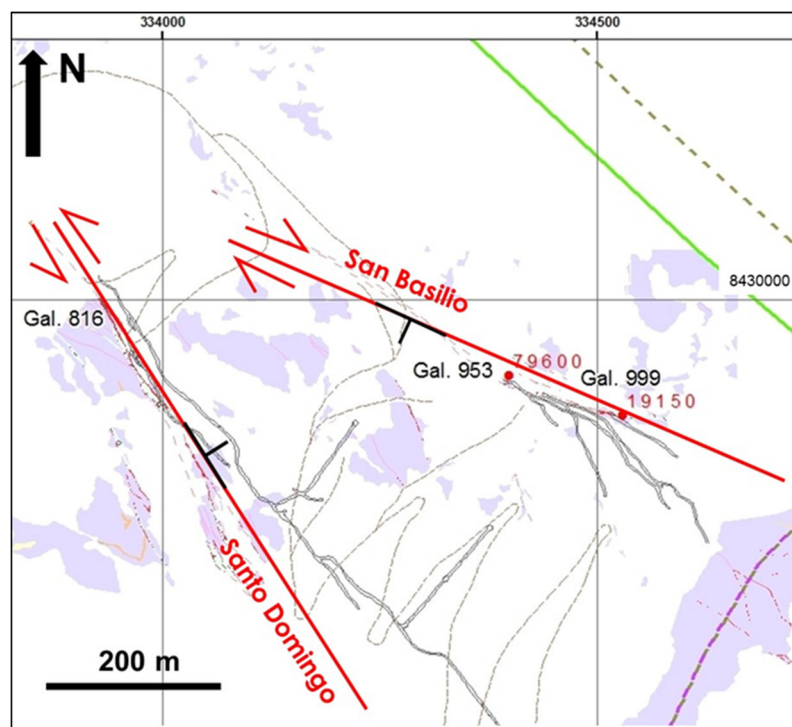


Figura 42: Interpretación estructural de los sistemas Santo Domingo y San Basilio
Fuente: Vallance, 2014c

Desde los años 90, se encontraron valores elevados de Sn (~6%Sn) en afloramientos del sistema San Basilio. Los altos valores de Sn justificaron en su tiempo la realización de tres niveles de galerías de exploración, por debajo de los afloramientos con altos valores, con el objetivo de seguir la mineralización. Los

resultados fueron negativos por lo que no se continuó con las galerías. Los últimos muestreos realizados en estos afloramientos (Minsur S.A., 2014) confirmaron las altas leyes de estaño (Figura 42).

Los afloramientos se presentan como crestones silicificados aislados en una ladera cubierta de material coluvial. Es la silicificación y la presencia de cuarzo que permitieron que esas rocas afloren a pesar de la fuerte erosión mecánica en la zona. Los crestones son discontinuos y alcanzan una potencia de hasta 3m. La zona mineralizada propiamente ocupa la parte central y no sobrepasa 1m de potencia aproximadamente. Está compuesta en su parte no oxidada, de esfalerita, localmente muy abundante, pirita, arsenopirita, calcopirita, galena, cuarzo, clorita y se puede observar, con ayuda de la lupa, casiterita en cristales idiomórficos.

La observación de bloques in-situ y rodados con mineralización de casiterita permitió poner en evidencia la asociación sistemática de la casiterita con cuarzo y clorita. La clorita no es abundante y casi ausente cuando la mineralización es exclusivamente polimetálica. La clorita acompañada de cuarzo es entonces probablemente el mejor indicador de la cercanía de posible mineralización de estaño (Vallance, 2014c).

5.2.5. Sistema Rita

El sistema Rita superficialmente tiene extensión de 550m, y mediante perforación se reconoció verticalmente en 250m. El sistema Rita está emplazado en pizarra al norte de la quebrada Ccasahuallata, tiene un rumbo preferencial de N290 con buzamiento promedio de 55°NE.

La potencia de las estructuras mineralizadas varía desde 0.10 a 0.60m con longitudes de 10 a 15m.

El sector donde está emplazada el sistema Rita hasta los años 90 permaneció cubierta de hielo. A finales de los años 90 el glaciar de Santo Domingo desapareció y dejó aflorando el sistema de vetas. Los trabajos exploratorios en Rita fueron

realizados a partir del 2014 en donde se evidenciaron leyes importantes de estaño, cobre, zinc y plata.

Las estructuras en ocasiones forman sigmoides con presencia de brechamiento por tramos. El sistema aparece controlado y limitado por fallas de rumbo N340 con buzamiento de 60°NW y de forma muy local parece presentar zonas de sobre-scurrimiento de bajo ángulo.

El contenido de las vetas comprende esfalerita, calcopirita, arsenopirita, pirita, pirrotita, galena, covelita, casiterita, clorita y cuarzo.

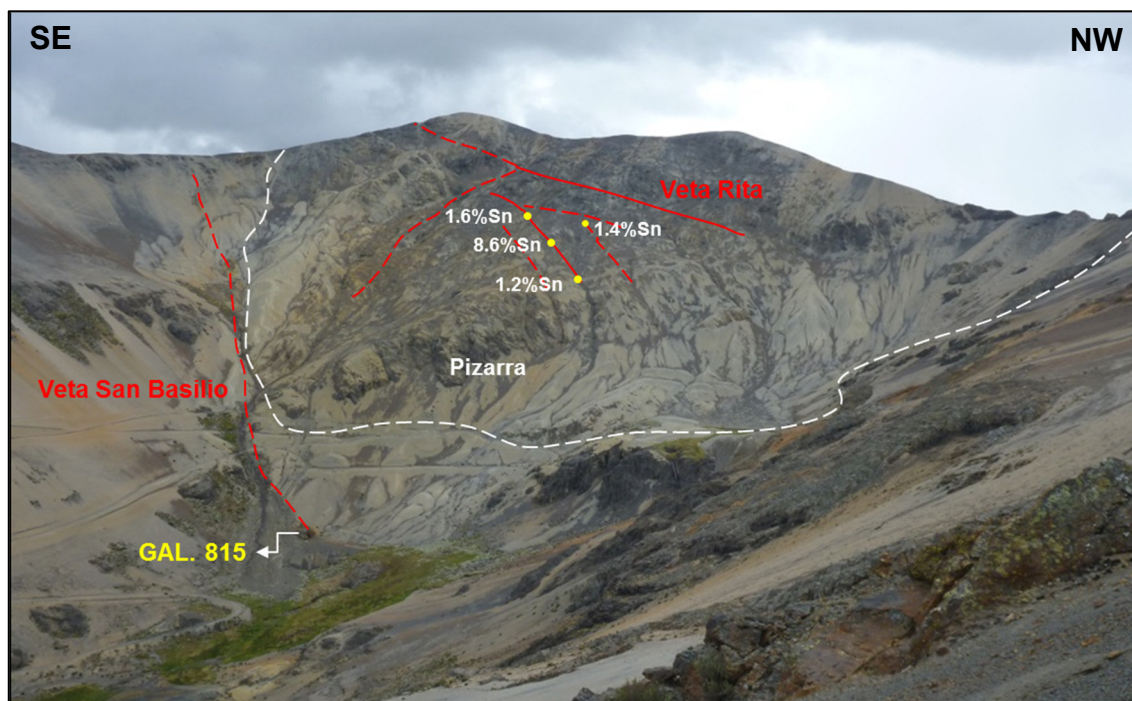


Figura 43: Foto panorámica del sistema Rita

Fuente: Minsur S.A., 2015

Ocasionalmente se presentan venillas y vetas de cuarzo lechoso con potencias menores a 0.20 m, de corta longitud y localmente muy sinuosas, junto a una moderada oxidación (Figura 44). Estas vetas de cuarzo son comunes en el domo de Quenamari, cercana a las zonas mineralizadas o lejanas. Podrían tener entonces un origen metamórfico (cuarzo de exudación) y ser entonces totalmente desconectadas de los eventos de mineralización (Vallance, 2014c).



Figura 44: Cuarzo de exudación

Fuente: Elaboración propia

5.3. CONTEXTO ESTRUCTURAL LOCAL

Los lineamientos estructurales fueron interpretados en base a imágenes satelitales. La interpretación abarcó el área total de las concesiones de Minsur S.A. en los alrededores del proyecto Santo Domingo (Figura 45).

Los principales lineamientos estructurales, interpretados e identificados, en los alrededores del proyecto Santo Domingo son:

5.3.1. Lineamiento andino

El lineamiento andino NW-SE es el principal control de la mineralización. Los sistemas de vetas presentan esta dirección preferencial (Figura 33).

Este lineamiento estaría controlado en primera instancia por el lineamiento E-W y posteriormente por el lineamiento transandino NE-SW (representado por las quebradas Ccasahuallata y Antuyuta).

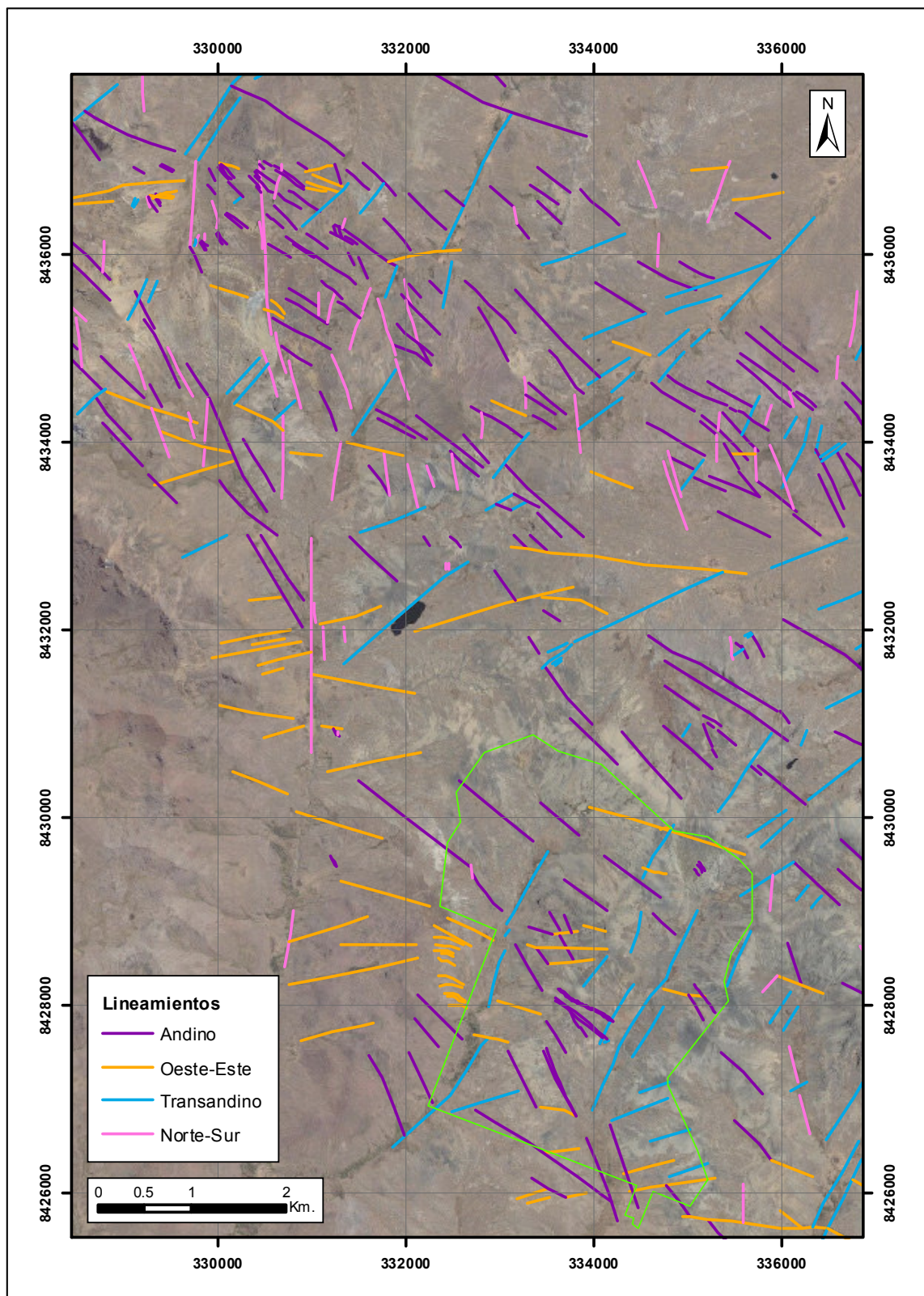


Figura 45: Plano de interpretación de lineamientos estructurales

Fuente: Minsur S.A., 2015

5.3.2. Lineamiento transandino

El lineamiento transandino es posterior a la mineralización e intrusión de cuerpos intrusivos tiene una orientación NE-SW con inclinaciones de 75-80°NW.

El movimiento de las fallas es normal con ligero movimiento sinistral, los desplazamientos pueden llegar a tener desde 0.5m en ambos componentes (Figura 46).



Figura 46: Falla transandina normal en dique monzonítico

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Lineamiento oeste – este

El lineamiento W-E se presenta al oeste del proyecto Santo Domingo, está asociado al lineamiento N-S.

5.3.4. Lineamiento norte – sur

El lineamiento N-S controla, al parecer, a los otros tres lineamientos. Al oeste del proyecto Santo Domingo hay un lineamiento de más de 10km de extensión, este lineamiento sería el límite oeste de la extensión de los sistemas de vetas en Santo Domingo (Figura 45).

5.4. ALTERACIONES HIDROTERMALES

Las alteraciones hidrotermales en el proyecto Santo Domingo están relacionadas a las estructuras mineralizadas y a las zonas de fallamiento y fracturamiento.

Durante el cartografiado geológico se colectaron muestras con alteración hidrotermal para realizar el estudio espectroscópico. El estudio espectroscópico se realizó mediante la captura de espectros de minerales de alteración hidrotermal con el equipo specTERRA, y la interpretación de los espectros se realizó con el software SPECMIN PRO v.3.1.

5.4.1. Argilización

La argilización está asociada a zonas de fallamiento, fracturamiento y ocasionalmente se presenta en forma selectiva de plagioclasas en los cuerpos ígneos, tal como se muestra en la Figura 47 del tramo de 49.10 a 52.20m del sondaje SDO021_15 del sistema Pucará.

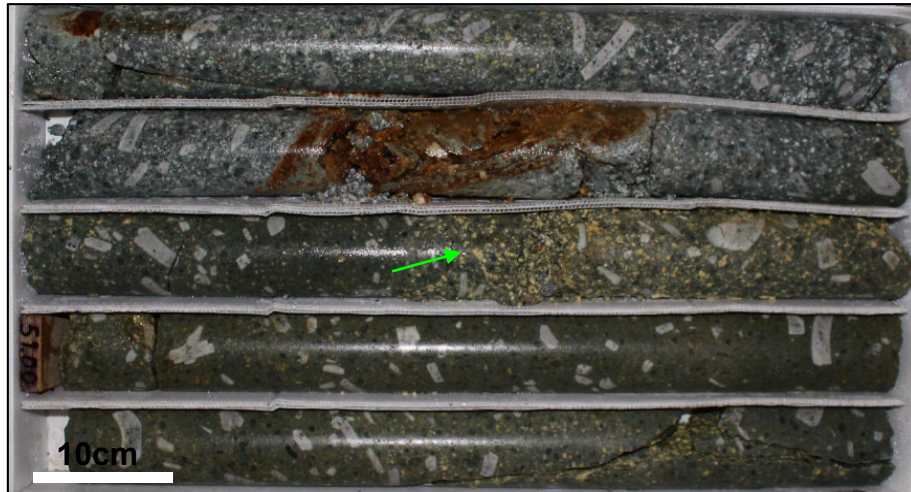


Figura 47: Argilización selectiva de plagioclasas

Fuente: Minsur S.A., 2015

La muestra de superficie PSD_163 es un roca caja (pizarra) del sistema Ccasahuallata. La muestra fue analizada por espectrometría presentando illita>caolinita.

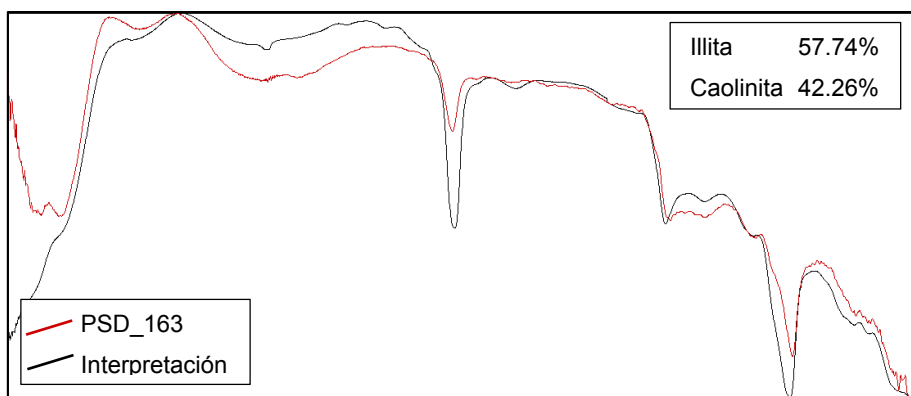


Figura 48: Espectro de la muestra de roca PSD_163

Fuente: Minsur S.A., 2015

5.4.2. Cloritización

La cloritización es la alteración hidrotermal con mayor asociación al estaño. En San Rafael, las dos etapas principales del sistema hidrotermal se caracterizan por la fuerte cloritización que es sobre impuesta a la alteración temprana (Mlynarczyk & Williams Jones, 2003). La alteración clorítica se presenta en venillas, relleno de brecha y reemplazando a la matriz de la roca caja (Figura 49).

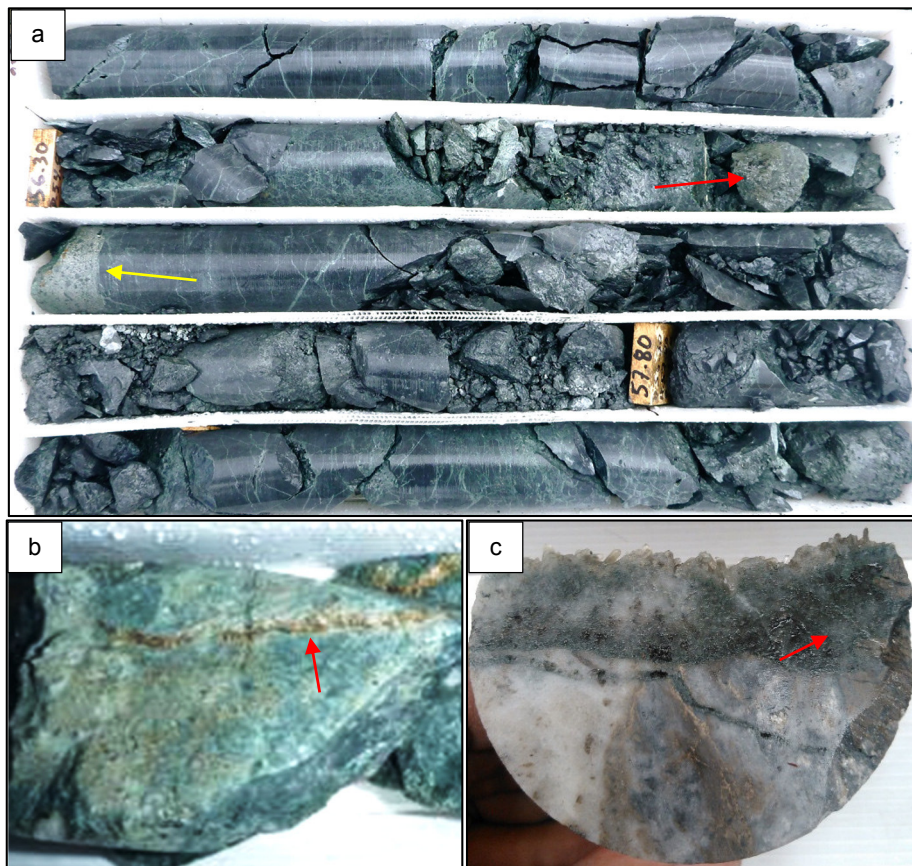


Figura 49: Estilos de alteración clorítica

Fuente: Minsur S.A., 2015

En donde: **a)** Sondaje SDO026_15 de 55.80 a 58.50m: brecha con matriz de clorita>cuarzo ocasionalmente arsenopirita (flecha amarilla) y casiterita (flecha rojo). **b)** Sondaje SDO020_14 a los 729.10m: monzogranito con fuerte cloritización cortado por una venilla de casiterita, el análisis con XRF NITON reporta 9.06%Sn. **c)** Sondaje SD01_03 a los 386.50m: venilla de cuarzo drúsico y clorita con esporádicos parches de casiterita.

Las cloritas definidas con la interpretación espectral son: clorita (sin diferenciar), clorita férrica y chamosita. Las especies férricas de la clorita tienen una buena asociación con la casiterita, tal como se identificó en el microscopio electrónico (Figura 71).

La muestra 207424 es de sondaje del sistema Santo Domingo, corresponde a un monzogranito con cloritización pervasiva y presencia de 2 venillas de casiterita de 1mm.

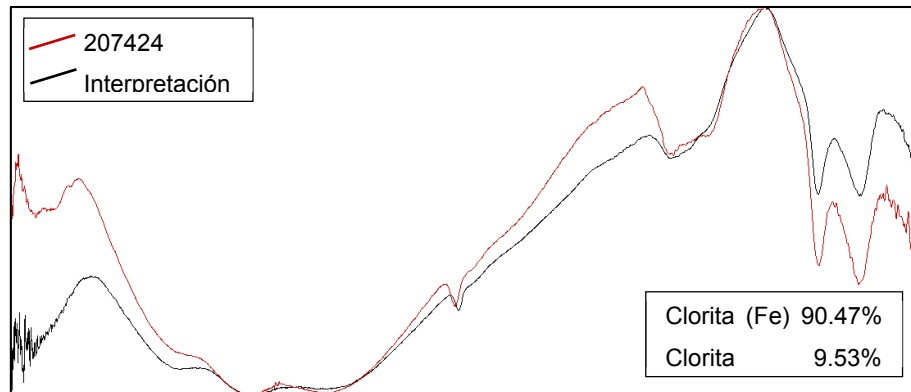


Figura 50: Espectro de la muestra 207424

Fuente: Minsur S.A., 2015

5.4.3. Silicificación

La silicificación se presenta en venillas de cuarzo y/o con clorita o turmalina; en matriz de brechas; y en matriz de rocas ígneas. Existen múltiples eventos de silicificación en venillas, como se muestra en la Figura 51 a los 656.50m del sondaje SDO020_14, en donde el hornfels es afectado por 3 eventos de venillas de cuarzo.

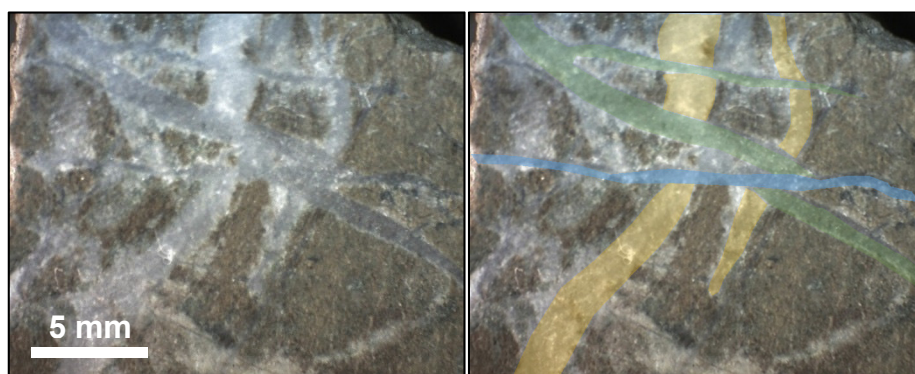


Figura 51: Múltiples eventos de cristalización de venillas de cuarzo

Fuente: Elaboración propia

5.4.4. Turmalinización

La turmalinización es la alteración previa a la mineralización estannífera. Se presenta en forma de parches, venillas y en cemento de brecha (Figura 52).

De acuerdo a la espectrometría se identifican dos variedades de turmalina: chorlo y dravita. Lo mismo se describe en el estudio petrográfico realizado por Vallance, (2015a) (Figura 57).

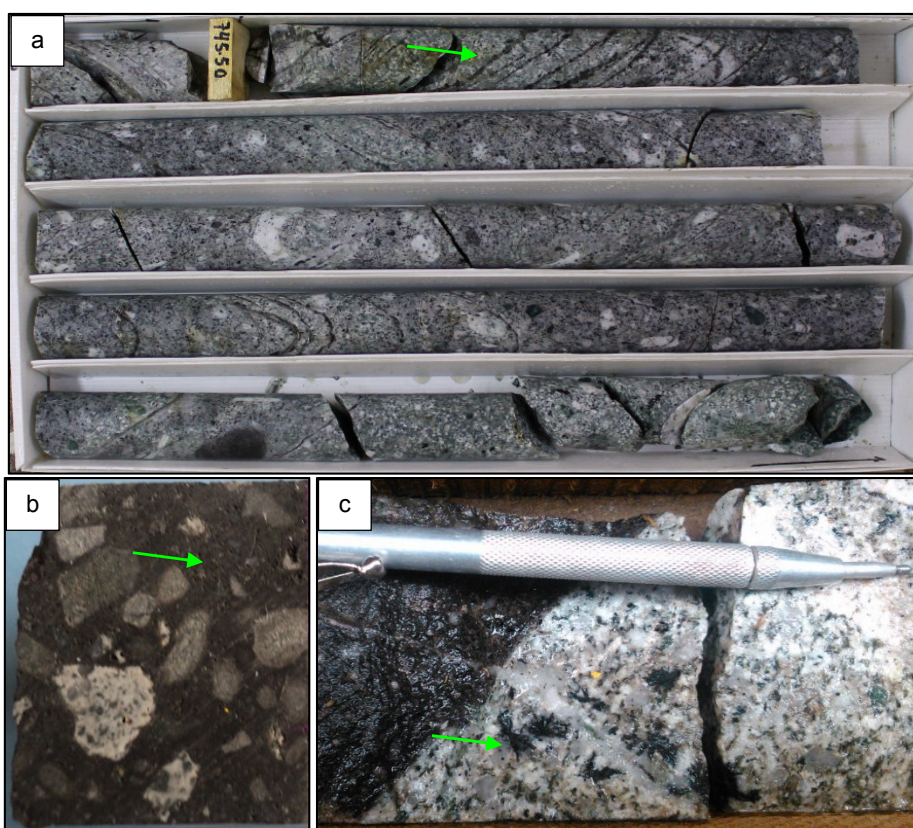


Figura 52: Estilos de alteración en la turmalinización

Fuente: Minsur S.A., 2015

En donde: **a)** Sondaje SDO020_14 de 745.40 a 748.20m: moderadas venillas paralelas de cuarzo-turmalina en monzogranito porfirítico. **b)** Sondaje SDO028_15 a los 283.10m: brecha con clastos de rocas metamórficas e ígneas, con cemento de turmalina y cuarzo. **c)** SD01_03 a los 562.05m: parches radiales de turmalina en monzogranito.

La muestra 205061 es de sondaje del sistema Santo Domingo, corresponde a un monzogranito con moderada cloritización selectiva y ocasionales venillas de cuarzo-turmalina.

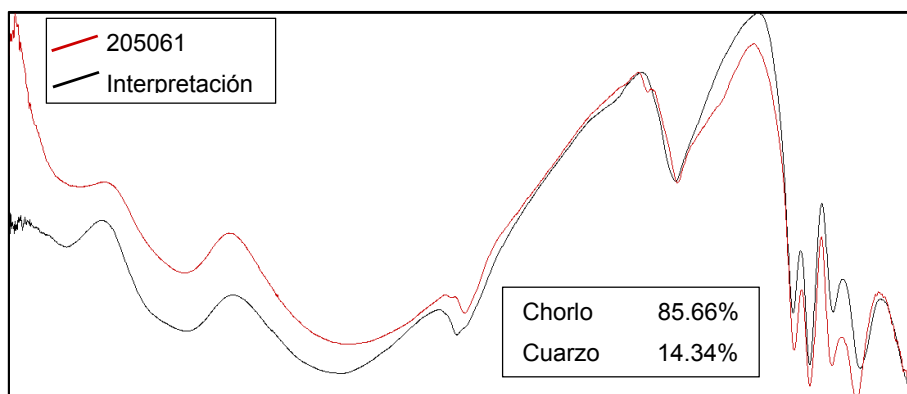


Figura 53: Espectro de la muestra 205061

Fuente: Minsur S.A., 2015

5.5. ESTUDIOS MICROSCÓPICOS

Los estudios microscópicos de petrografía y mineragrafía fueron realizados por Vallance (2014-2015), mientras que el estudio preliminar con microscopio electrónico de barrido fue realizado por Ocharán (2015).

5.5.1. Petrografía

Se realizaron estudios petrográficos de muestras de superficie y sondajes con la finalidad de determinar las variaciones en la composición de los distintos cuerpos de intrusivos.

Vallance (2014b), subdividió en tres grupos a las rocas intrusivas estudiadas:

- 1) **Intrusivos peraluminosos a cordierita.** Intrusivos con cuarzo, biotita y cordierita, en proporciones variables. Las composiciones modales en el diagrama de Steickesen varían de monzogranito a cuarzomonzonita y eventualmente a cuarzomonzodiorita.

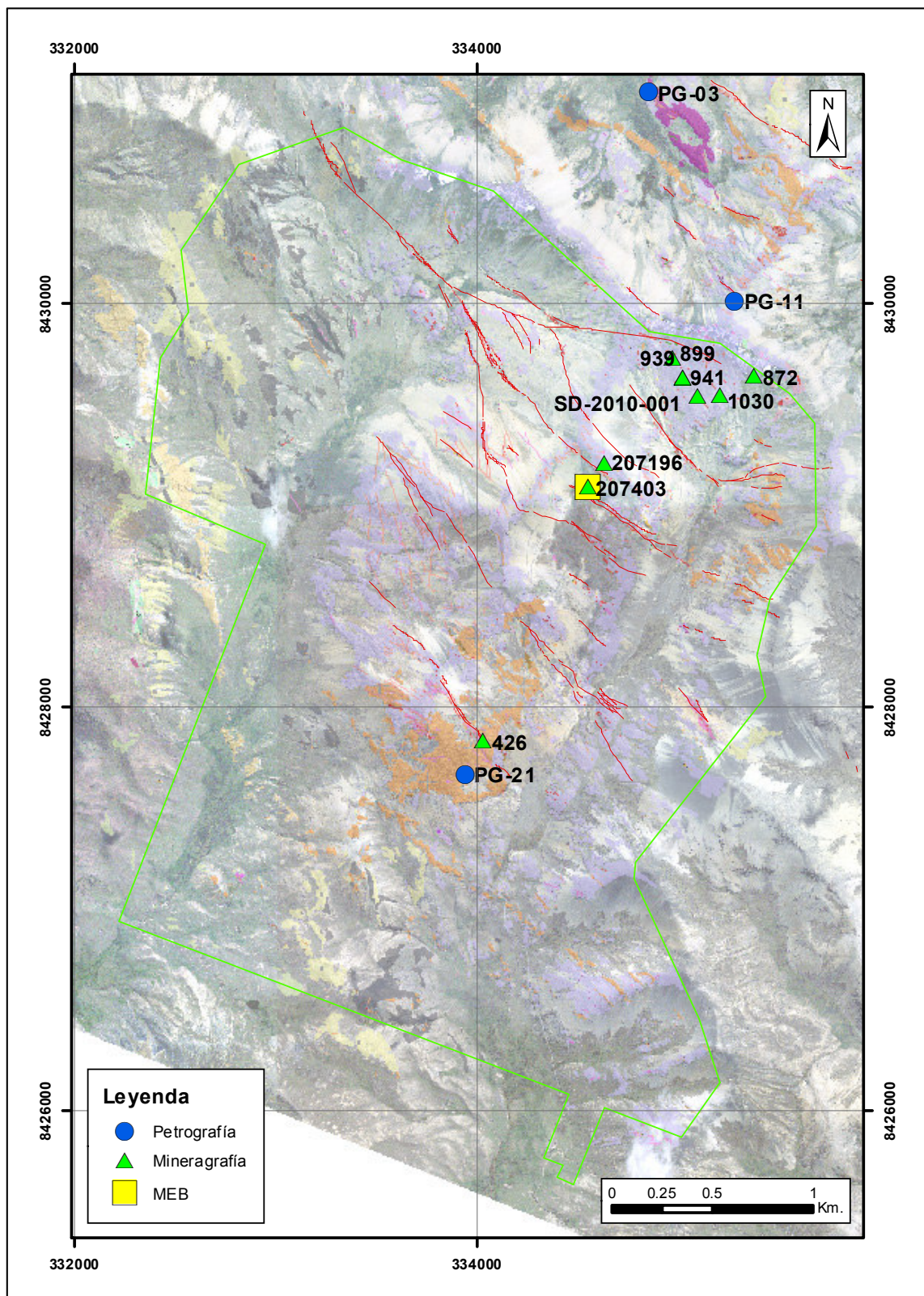


Figura 54: Ubicación de las muestras con estudios microscópicos

Fuente: Minsur S.A., 2015

- **Muestra petrográfica PG-21:** Monzogranito porfirítico a biotita y cordierita con megacrystales idiomórficos de feldespato potásico con inclusiones de biotita y sericita. Esta muestra presenta muy débil alteración a turmalina y cuarzo y muy débil alteración a clorita-sericita-calcita.

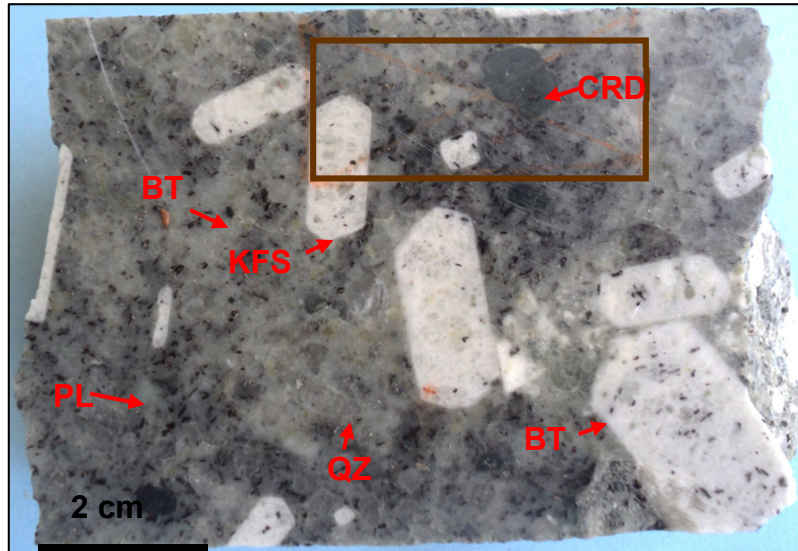


Figura 55: Muestra de mano PG-21

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: **BT:** biotita, **QZ:** cuarzo, **KFS:** feldespato potásico, **PL:** plagioclase, **CRD:** cordierita.

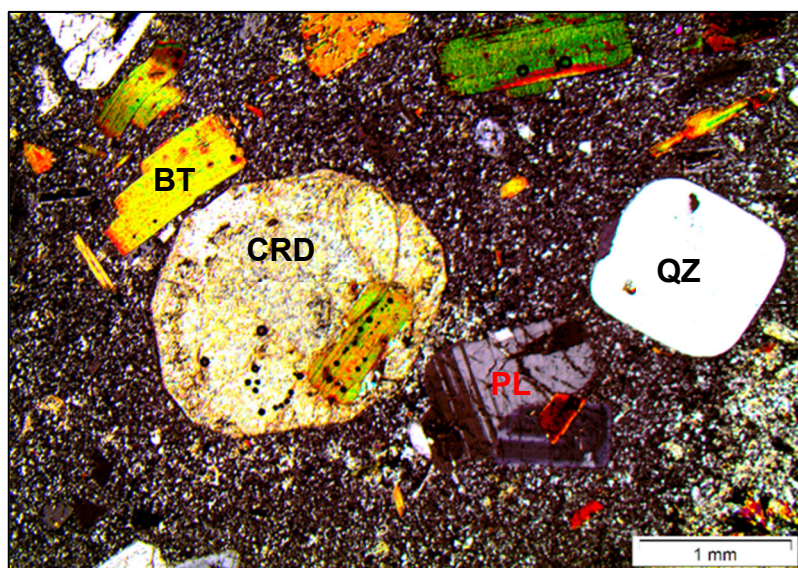


Figura 56: Muestra PG-21 al objetivo 2.5 en modo polarizadores cruzados

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: la cordierita es el único mineral en haber sufrido una alteración importante, pinitización. **BT**: biotita, **QZ**: cuarzo, **PL**: plagioclasa, **CRD**: cordierita.

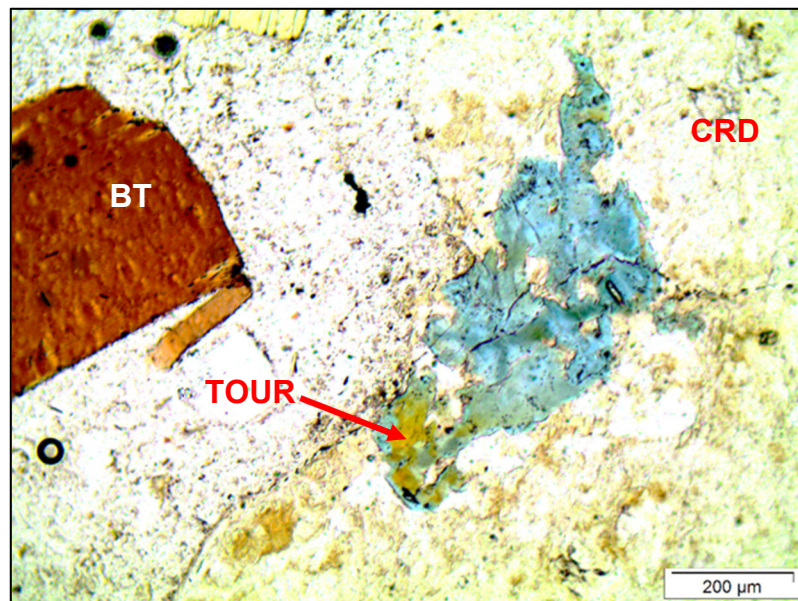


Figura 57: Muestra PG-21 al objetivo 10 en luz polarizada

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: se muestra una zona de remplazamiento de la cordierita por turmalina. La turmalina es mayormente azul, pasando localmente a un marrón verdoso. **BT**: biotita, **TOUR**: turmalina, **CRD**: cordierita.

Por analogía con las turmalinas analizada en San Rafael y Quenamari (Mlynarczyk y Williams-Jones, 2006; Corthay, 2014; Prado, 2015), la turmalina marrón correspondería a una turmalina magnésica del tipo dravita y la turmalina azul a verde correspondería a composiciones con hierro dominante, del tipo chorlo.

2) Intrusivos metaluminosos. Esos intrusivos no presentan cordierita y biotita, sino el ensamble biotita y anfíbol. Por el grado de alteración hidrotermal no se ha podido establecer de qué tipo de anfíbol se trata. Las composición modales indican en promedio más presencia de plagioclasa y menos presencia de cuarzo, que en los intrusivos peraluminosos, en el campo de las cuarzomonzodiorita a eventualmente cuarzomonzonita.

- **Muestra petrográfica PG-03:** Cuarzodiorita porfírica a anfíbol-piroxeno > biotita. Se encontró un solo grano (¿origen externo?) de cordierita pinitizada. Moderada alteración a clorita-sericita-cuarzo-calcita-óxidos de Fe-Ti-pirita. El anfíbol y el piroxeno son muy afectados por la alteración mientras que la biotita lo es poco.

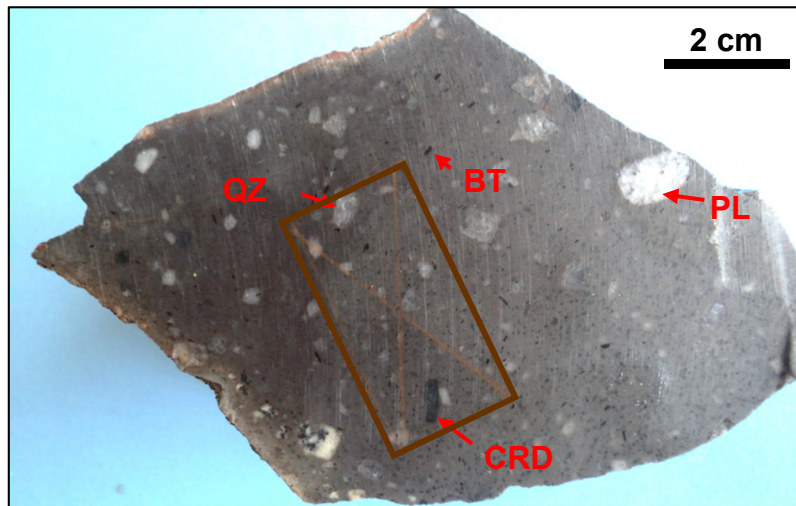


Figura 58: Muestra de mano PG-03

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: **BT:** biotita, **QZ:** cuarzo, **PL:** plagioclasa, **CRD:** cordierita.



Figura 59: Muestra PG-03 al objetivo 2.5 en modo polarizadores cruzados

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: los fenocristales de biotita y de plagioclasa zonada son idiomórficos en una matriz de grano fino. **BT**: biotita, **PL**: plagioclasa.

En la los minerales son totalmente remplazados por clorita (verde pálido), calcita (incoloro) y óxidos de Fe y Ti (negro). Los minerales solo son identificables cuando presentan formas idiomórficas. Ver como la biotita es poca afectada por la cloritización con respecto al anfíbol y piroxeno.

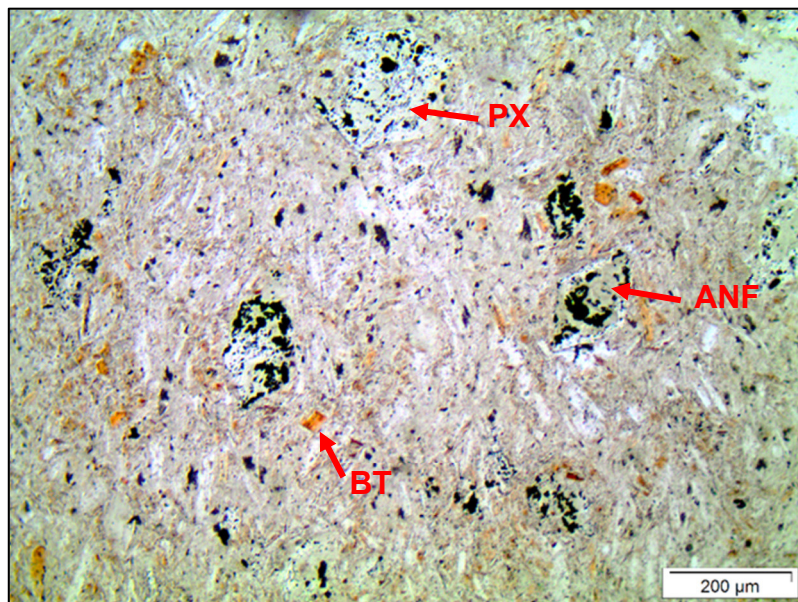


Figura 60: Muestra PG-03 al objetivo 10 en luz polarizada

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: **BT**: biotita, **PX**: piroxeno, **ANF**: anfíbol.

- 3) Intrusivos alcalinos.** La particularidad de esta roca es de no contener feldespato potásico como fenocristales. El feldespato potásico solo se observa en la matriz fina como granos xenomórficos, como se suele encontrar en los lamprófidos. El cuarzo y la plagioclasa presentan coronas de reacción indicando un origen muy probablemente externo al magma o que sean granos arrastrados de la caja en los bordes de diques.
- **Muestra petrográfica PG-11:** Mineta (lamprófido) con feldespato potásico y biotita como fases principales. Como en todos los lamprófidos, el feldespato

solo está presente en la matriz. El anfíbol es el segundo mineral máfico y solo subsiste como fantasmas pseudomorizados por sericita y óxidos de Fe-Ti. El cuarzo y la plagioclasa presentan coronas de reacción de biotita indicando un origen muy probablemente externo al magma (Figura 62). La alteración hidrotermal es débil con clorita y sericita.

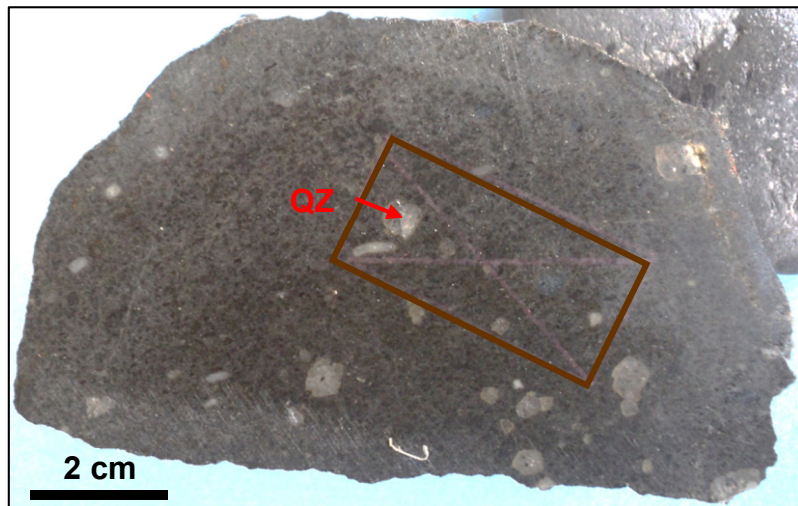


Figura 61: Muestra de mano PG-11

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: **QZ**: cuarzo.

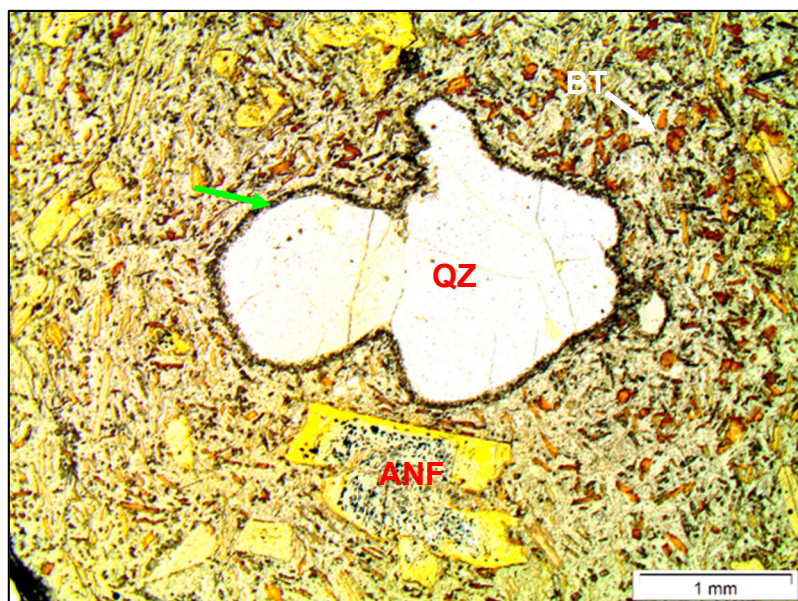


Figura 62: Muestra PG-11 al objetivo 2.5 en luz paralela

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: **QZ**: cuarzo, **BT**: biotita, **ANF**: anfíbol.

En la Figura 63, se presentan granos idiomórficos de anfíbol que se encuentran alterados a sericita (SER) y óxidos de Fe y Ti (Fe-Ti ox) con halo de reacción de biotita (flecha verde), fenocristal de biotita con inclusión de circón y su halo negro.

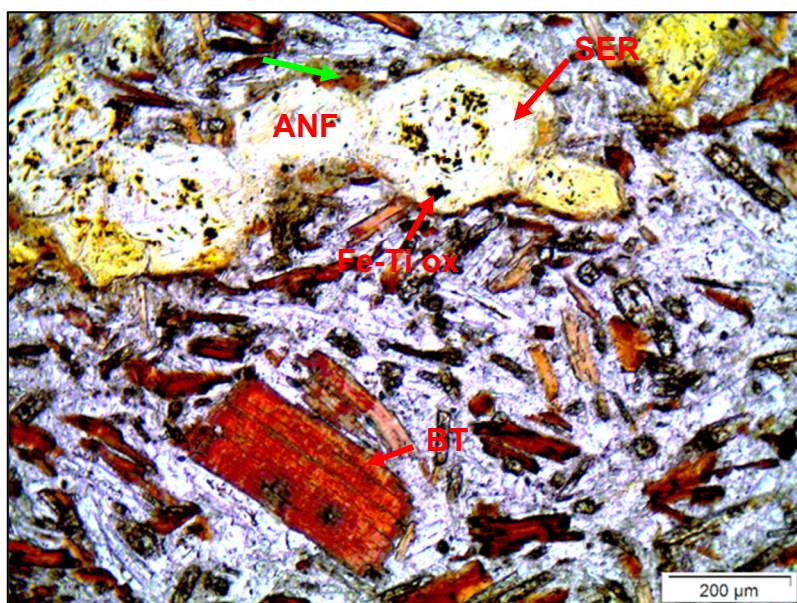


Figura 63: Muestra PG-11 al objetivo 10 en luz polarizada

Fuente: Vallance, 2015b

En donde: **ANF**: anfíbol, **BT**: biotita, **SER**: sericita.

5.5.2. Mineragrafía

Los estudios mineragráficos se realizaron con la finalidad de determinar la relación existente entre la mineralización estannífera y la mineralización de los sulfuros base, determinar eventos posteriores que afecten a la mineralización.

Las muestras en donde se observó casiterita fueron: SD-2010-001, 872, 207196 y 207403.

Las muestras colectadas para la realización de las secciones pulidas se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro 4: Ubicación UTM (WGS84) y leyes de las muestras minerográficas

Muestra	Este	Norte	Cota	Sistema	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)
SD-2010-001	335088	8429539	4993	Rita	163	1.93	2.45	2.12	8.89
426	334029	8427827	4839	Ccasahuallata	201	1.39	4.10	0.24	18.00
872	335371	8429638	5020	Rita	34	0.05	0.09	0.12	0.14
899	334961	8429731	5066	Rita	142	1.95	2.71	0.49	4.70
939	335016	8429626	5028	Rita	51	0.61	0.84	1.82	1.62
941	335014	8429633	5042	Rita	291	3.08	0.16	6.28	0.26
1030	335196	8429547	4990	Rita	18	0.16	0.94	0.13	5.60
207196	334624	8429206	4834	Santo Domingo	64	4.78	0.12	13.50	0.23
207403	334543	8429088	4414	Santo Domingo	3	<0.01	<0.01	10.05	<0.01

Fuente: Minsur S.A., 2015

- **Muestra SD-2010-001:** veta de 15cm, se encontró casiterita asociada a cuarzo, con posterior relleno por sulfuros. La arsenopirita y la casiterita son las primeras fases en cristalizar, seguida del cuarzo. Esas tres fases presentan hábitos idiomórficos, posteriormente cristalizan la calcopirita, la pirrotina y la pirita (Figura 64a). La pirrotina presenta alteración hacia pirita o marcasita mediante productos intermedios (Figura 64b).

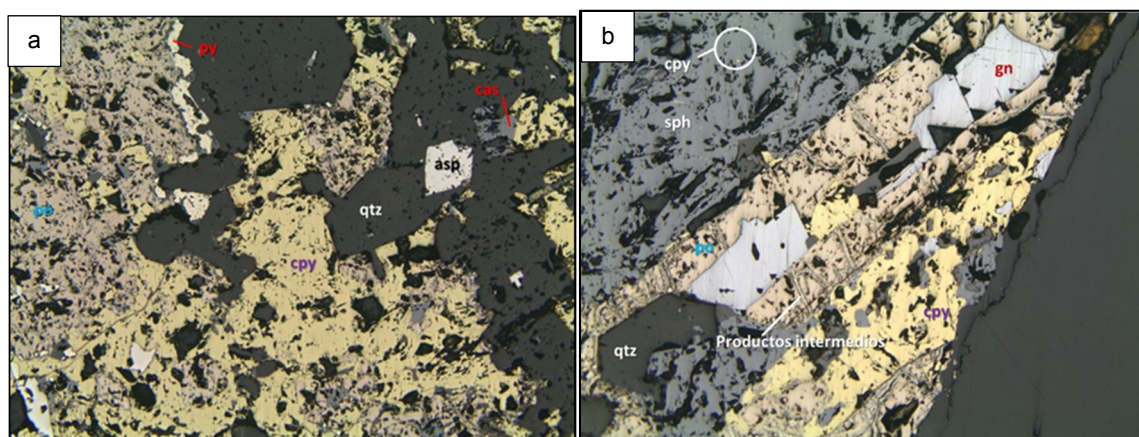


Figura 64: Microfotografías de la muestra SD-2010-001

Fuente: Vallance, 2014c

En donde: **qtz:** cuarzo, **cas:** casiterita, **asp:** arsenopirita, **cpy:** calcopirita, **py:** pirita, **po:** pirrotita, **sph:** esfalerita, **gn:** galena.

- **Muestra 872:** brecha con muy fuerte alteración supérgena, debido a la oxidación y lixiviación completa de los sulfuros. Esta lixiviación dio a la

muestra su carácter cavernoso y el resultado es una sobre concentración residual de estaño.

En la Figura 65, se muestra la distribución de la casiterita y del cuarzo en la matriz de la brecha. El cuarzo es pre- a syn-casiterita y se presenta como cristales subidiomórficos a idiomórficos, creciendo a partir de los clastos de arenisca negra. La casiterita de grano mucho más fino, forma granos xenomórficos a subidiomórficos entre los “dientes” de cuarzo. La matriz comprende clorita y sulfuros (oxidados impregnados en la roca).

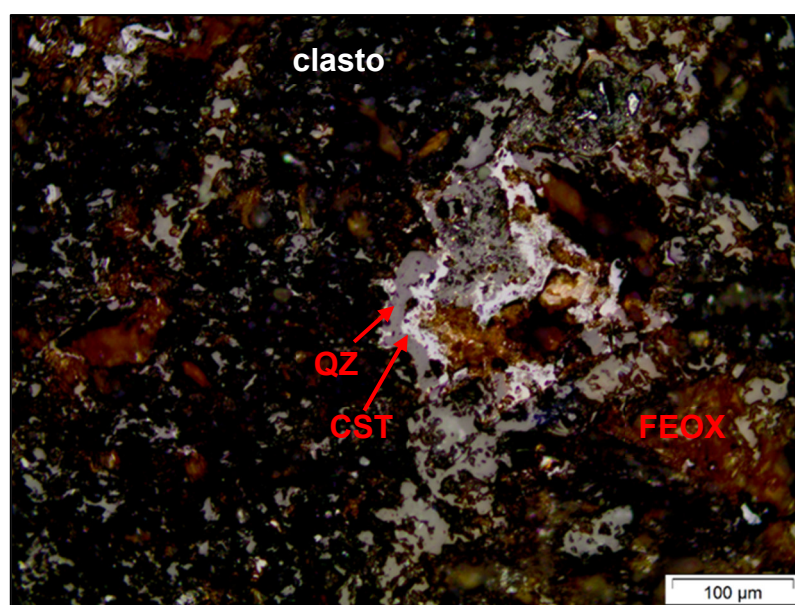


Figura 65: Muestra 872 al objetivo 10

Fuente: Vallance, 2014b

En donde: **QZ**: cuarzo, **CST**: casiterita, **FEOX**: óxidos de hierro.

En la Figura 66, la casiterita se presenta rellenando espacios entre los granos idiomórficos de cuarzo. Localmente la casiterita presenta habito idiomórfico (flechas rojas). Los halos de color naranja corresponden a reflexiones internas de la casiterita y de los óxidos de hierro.

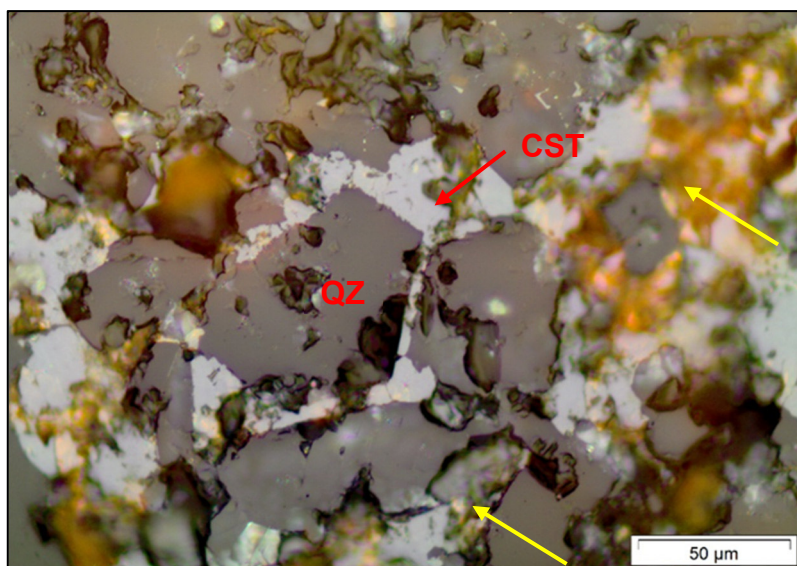


Figura 66: Muestra 872 al objetivo 50

Fuente: Vallance, 2014b

En donde: **QZ**: cuarzo, **CST**: casiterita.

- **Muestra 207196:** Estructura mineralizada de tipo veta o cemento de brecha cortando a una lutita negra cuarzosa. Deposición sucesiva de clorita, casiterita, cuarzo, arsenopirita, pirrotina, pirita, calcopirita, esfalerita y galena. Los minerales los más abundantes son la clorita, la casiterita, el cuarzo y la calcopirita (Vallance, 2015a)

En la Figura 67a, el primer mineral en precipitar es la casiterita, seguido de la arsenopirita que subsiste solo en inclusiones dentro de la pirita después de haber sido remplazada. La calcopirita es posterior y rellena la parte central de la vetilla. En la Figura 67b, la clorita se presenta en granos tabulares subidiomórficos y cristaliza al mismo tiempo que la casiterita. El cuarzo es posterior localmente englobando claramente a la casiterita (flecha verde). La calcopirita es tardía y rellena los espacios libres.

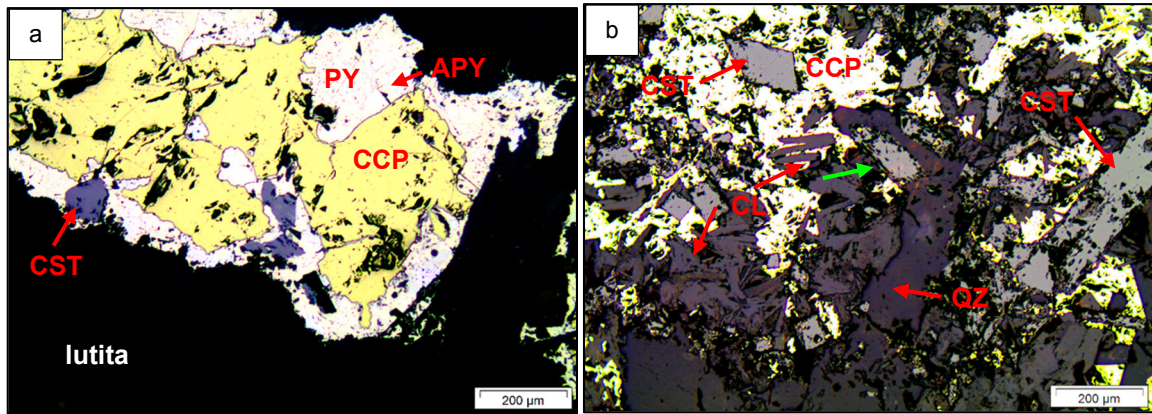


Figura 67: Muestra 207196 al objetivo 10

Fuente: Vallance, 2015a

En donde: **QZ**: cuarzo, **CST**: casiterita, **APY**: arsenopirita, **CCP**: calcopirita, **PY**: pirita, **CL**: clorita.

- **Muestra 207403**: La muestra presenta varios episodios de mineralización sucesiva. La primera etapa de cuarzo-turmalina con trazas de casiterita y arsenopirita. La segunda etapa corresponde a la mayor fase de precipitación de casiterita con cuarzo y clorita como mineral de ganga, asociada a una fase de brechamiento (Figura 68a). Posteriormente hubo deposición de pirita con arsenopirita en inclusiones corroídas, indicando que este último mineral empezó primero a precipitar pero fue rápidamente remplazado por la pirita. La fluorita cementa clastos de los minerales previos, después de una última fase de fracturación (Figura 68b).

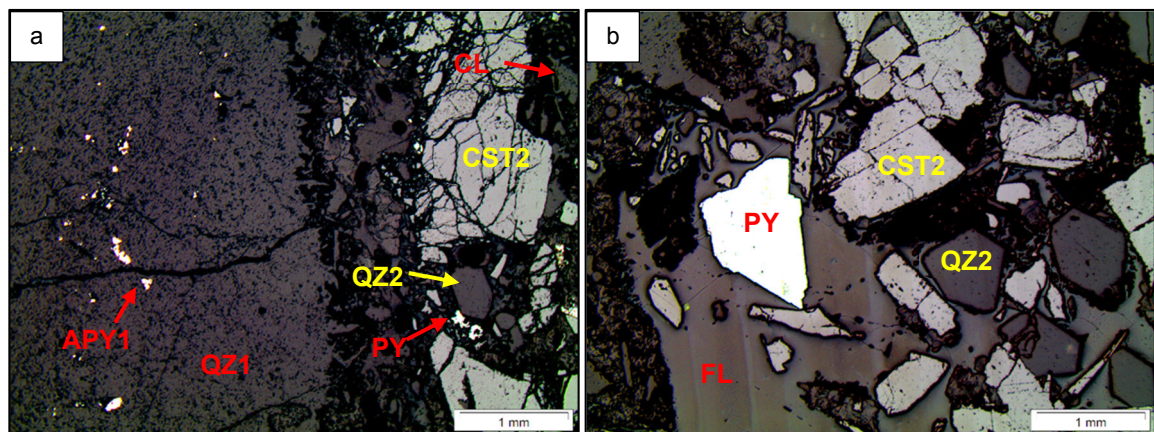


Figura 68: Muestra 207403 al objetivo 2.5

Fuente: Vallance, 2015a

En donde: **QZ**: cuarzo, **CST**: casiterita, **APY**: arsenopirita, **PY**: pirita, **CL**: clorita, **FL**: fluorita.

En la Figura 69a, se presentan típicos granos idiomórfico del primer evento de casiterita encontrándose diseminado en el cuarzo macizo. En la Figura 69b, una inclusión de arsenopirita (segundo evento) en la pirita. La flecha verde indica un mineral indeterminado, probablemente un sulfosal de plata del tipo polibasita-pearceita o proustita-pirargirita, depositado posteriormente a la pirita.

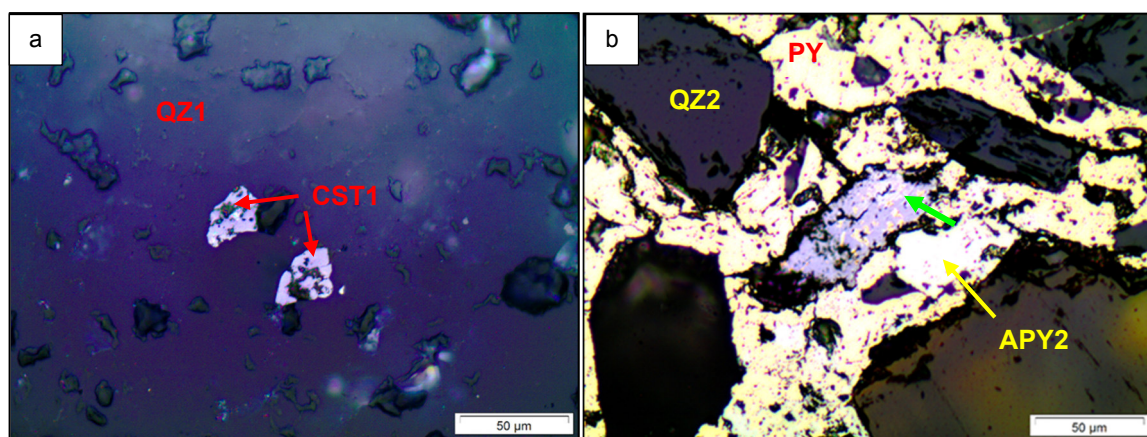


Figura 69: Muestra 207403 al objetivo 50

Fuente: Vallance, 2015a

En donde: **QZ**: cuarzo, **CST**: casiterita, **APY**: arsenopirita, **PY**: pirita.

5.5.3. Microscopía electrónica de barrido

La muestra estudiada por Ocharán (2015) corresponde al sondaje SDO020_14 a la profundidad de 666.30m, se ubica en el sector de brecha del sistema Santo Domingo.

Se reconoció casiterita, cuarzo, calcita y clorita. La clorita es ferruginosa posiblemente chamosita (Figura 70).

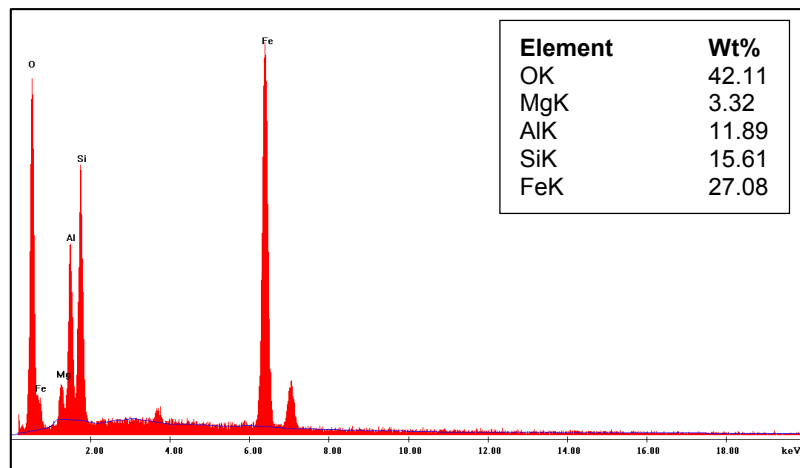


Figura 70: Microfotografía del estudio puntual por MEB-EDS

Fuente: Ocharán, 2015

En las microfotografías **MIX** (Figura 71a) y **SSD** (Figura 71b) se demuestra la íntima relación entre la chamosita y casiterita, en algunos casos la cristalización de casiterita se da a lo largo del clivaje de la chamosita (flecha verde).

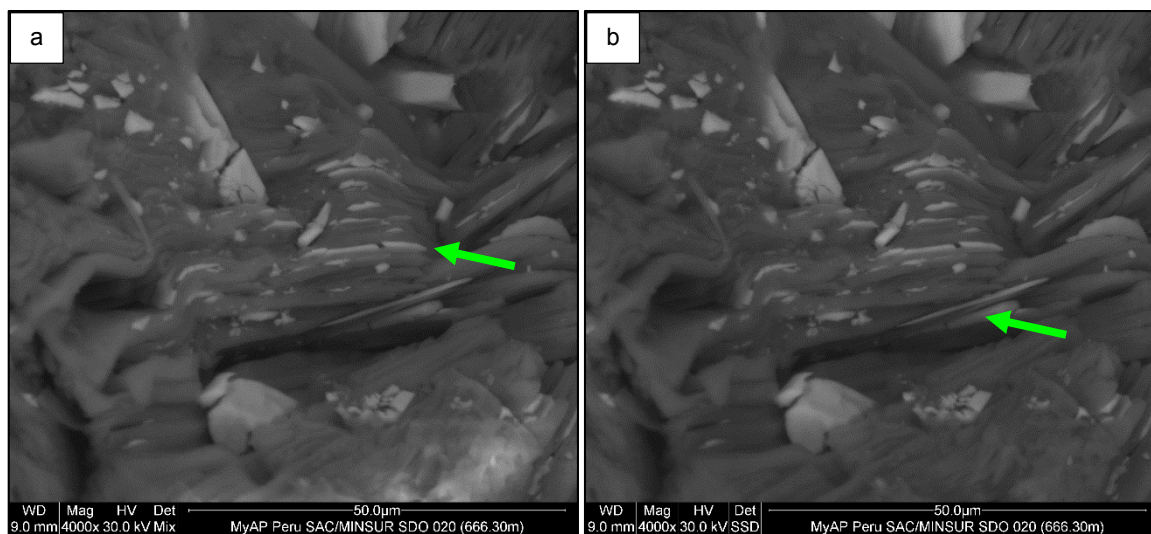


Figura 71: Microfotografías MIX y SSD de la muestra 207403

Fuente: Ocharán, 2015

De acuerdo a los resultados obtenidos en los estudios minerográficos y de microscopio electrónico establezco la siguiente secuencia paragenética.

Mineral	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Cuarzo	████████			
Turmalina	████████			
Casiterita	████████			
Arsenopirita	████████			
Clorita		████████		
Casiterita		████████		
Cuarzo		████████		
Arsenopirita			████████	
Pirrotita			████████	
Pirita			████████	
Marcasita			████████	
Calcopirita			████████	
Esfalerita			████████	
Galena			████████	
Sulfosal de plata			████████	
Fluorita				████████

Figura 72: Secuencia paragenética

Fuente: Elaboración propia

VI. GEOQUÍMICA

El muestreo geoquímico de superficie se realizó en roca caja y estructuras mineralizadas. El método de muestreo fue el de canal chip, se consideró el ancho máximo de canal en 20cm, el peso aproximado por muestra fue de 4kg.

Las muestras geoquímicas de superficie fueron colectadas tomando en cuenta el cartografiado geológico, el espaciamiento en estructuras fue cada 20m y según los resultados geoquímicos, el muestreo en zonas de interés fue cada 5-10m.

En el muestreo geoquímico de subterráneo las muestras fueron colectadas en las zonas con condiciones favorables, no se pudo realizar un muestreo sistemático debido a problemas de sostenimiento y ventilación.

El muestreo geoquímico de sondajes se realizó muestreando la mitad del testigo con una extensión máxima de 2m.

Se cumplió con el programa de QA/QC, en el cual se incluyeron muestras de control: muestras blanco, duplicados e inserción de estándares.

El lote de muestras fue analizado por ICP con resultado de 51 elementos en niveles de ultra traza.

6.1. GEOQUÍMICA DE SUPERFICIE

De los 51 elementos analizados por el laboratorio, se realizó un análisis para determinar qué elementos sobrepasaban la mitad del total de muestras con contenidos menores al límite de detección del laboratorio. Los elementos excluidos del análisis geoestadístico fueron el oro, boro, niobio, renio y tántalo.

El análisis estadístico se realizó de tomando en cuenta: estructuras mineralizadas de la población total; sistemas de vetas (5); y litología (5).

Cuadro 5: Abreviaturas utilizadas en los análisis geoestadísticos.

Tipo	Descripción y abreviatura
Sistema	Ccasahuallata (CCA), Pucará (PUC), Santo Domingo (SDO), San Basilio (SBA), Rita (RIT).
Litología	Brecha (BX), ígneo (I), metamórfico (M), sedimentario (S), estructura mineralizada (VN)

Fuente: Elaboración propia

a) Correlaciones multivariantes – Estructuras mineralizadas – Población total

El gráfico de correlación multivariable (Figura 73), de estructuras mineralizadas, nos indica que las correlaciones para el estaño son:

- Muy fuerte: Ninguna.
- Fuerte: Ag, Cu.
- Moderado: Bi, In, Se, W.
- Débil: As, Cd, Fe, Ge, Hg, Pb, S, Sb, Te, Tl, Zn.

b) Histogramas – Estructuras Mineralizadas - Población total

Los histogramas se realizaron de los elementos con fuerte y moderada correlación con el estaño, se incluyó el plomo y zinc. El total de datos es 1157.

El Pb y Ag presentan simetría; mientras que el Cu, Sn, W y Zn presentan una asimetría positiva (Figura 74).

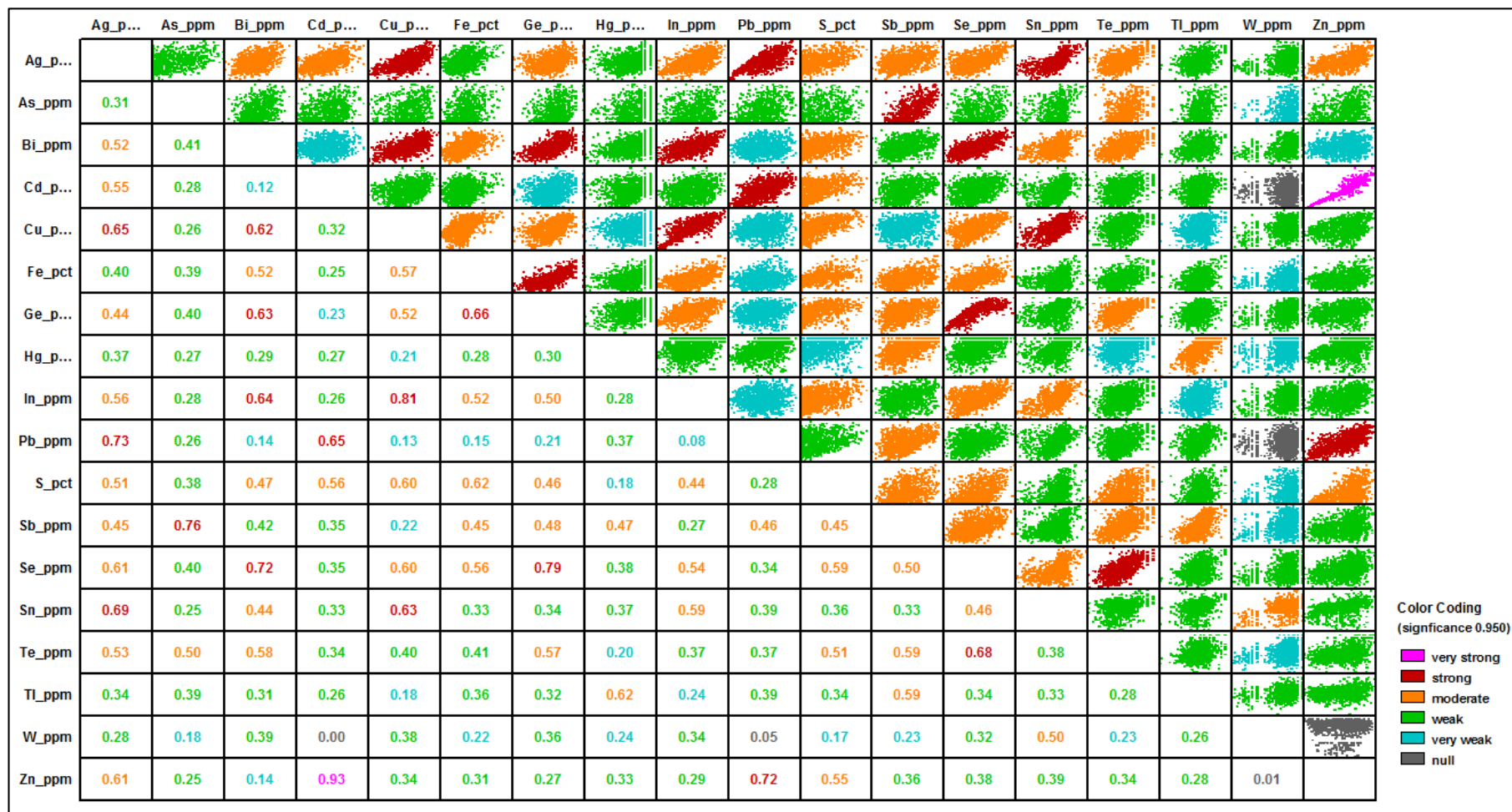


Figura 73: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del proyecto Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

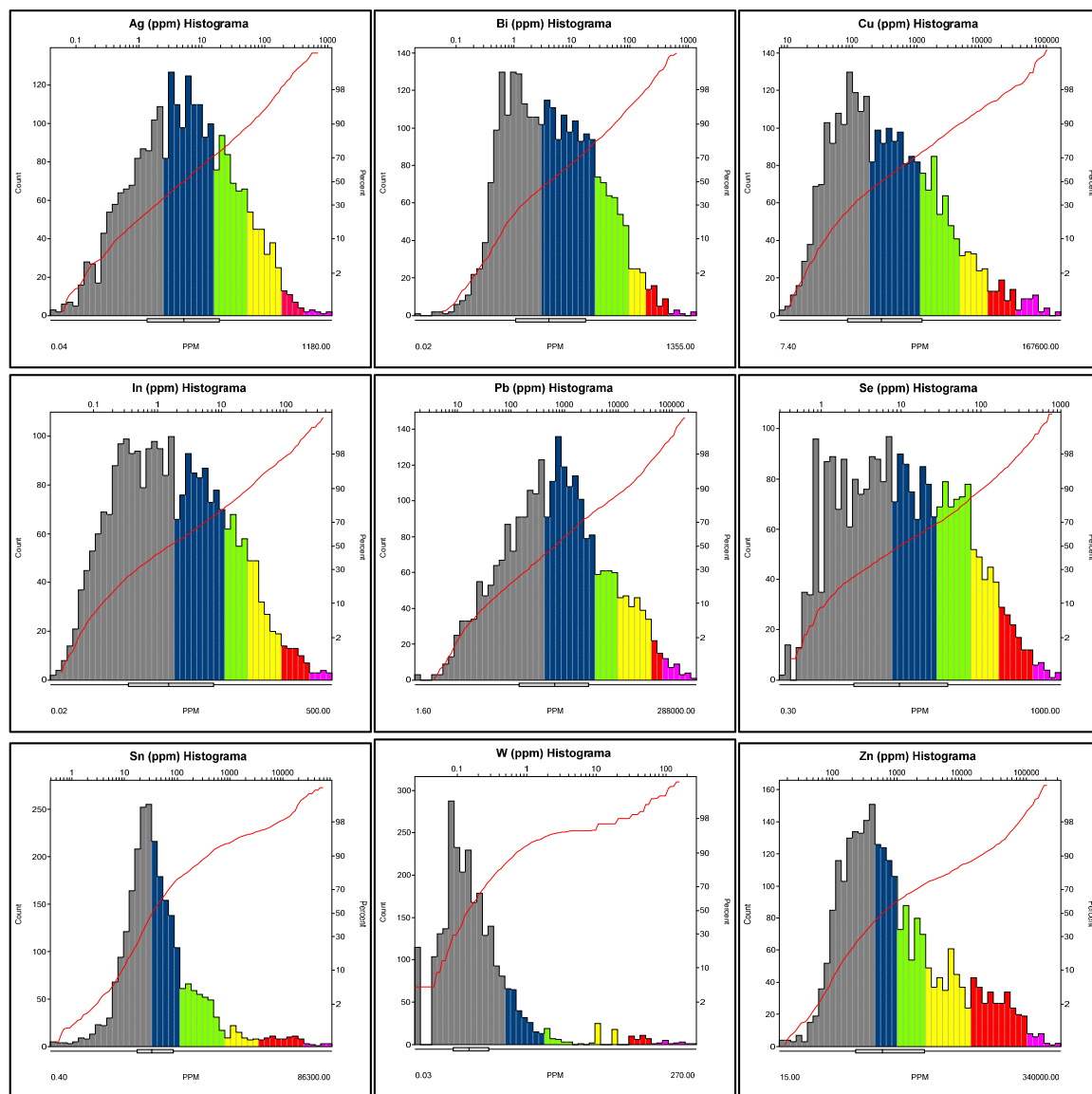


Figura 74: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del proyecto Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

c) Box plot – Estructuras mineralizadas – Sistemas de vetas

Los box plot se realizaron de los elementos con fuerte y moderada correlación con el estaño, se incluyó el plomo y zinc.

La Ag, Pb y Zn presentan una mejor distribución en el sistema Ccasahuallata.

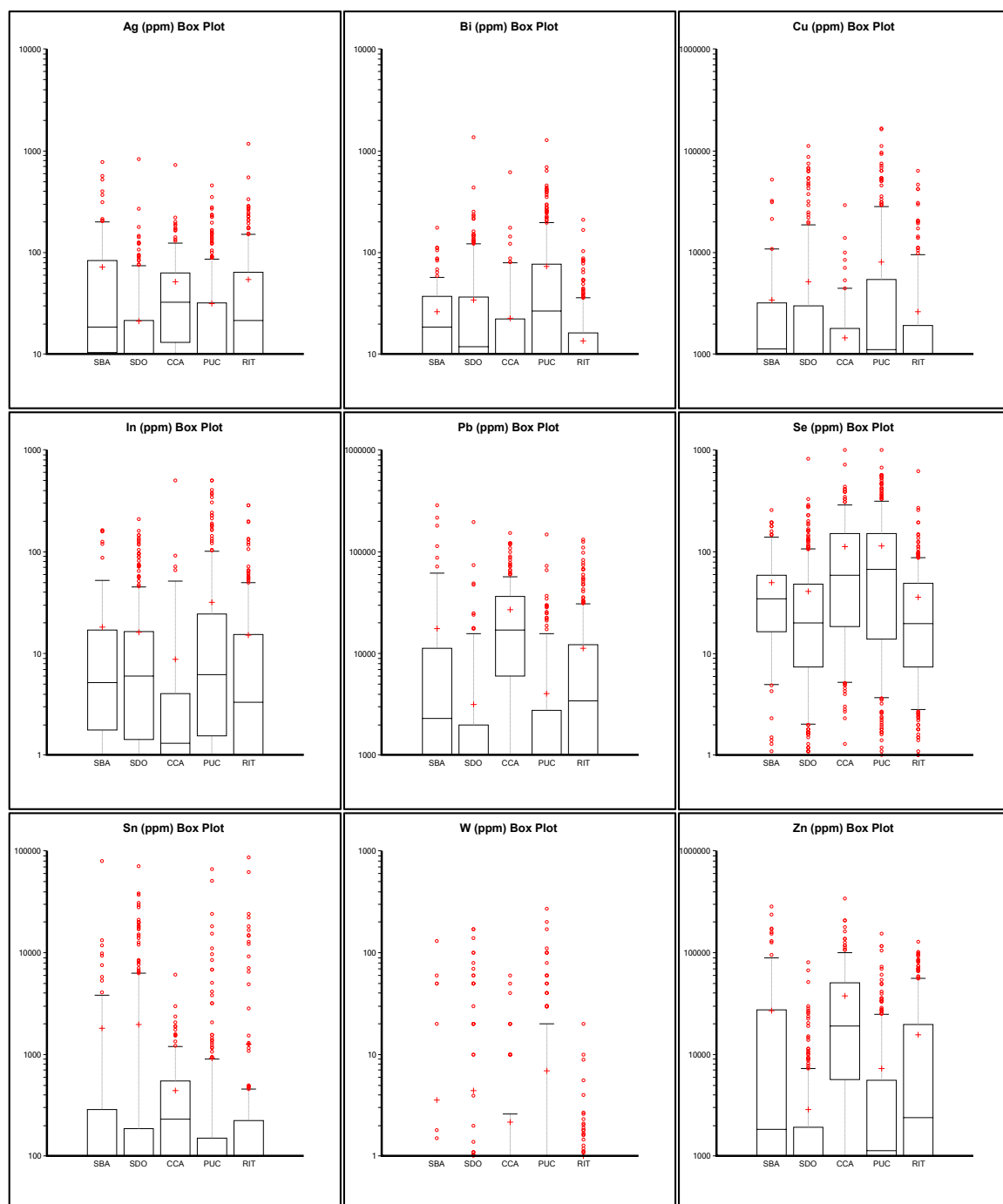


Figura 75: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas por sistema de vetas

Fuente: Elaboración propia

d) Planos geoquímicos – Sistemas de vetas

Los planos geoquímicos se realizaron con los elementos de fuerte y moderada correlación con el estaño, se incluyó el plomo y zinc.

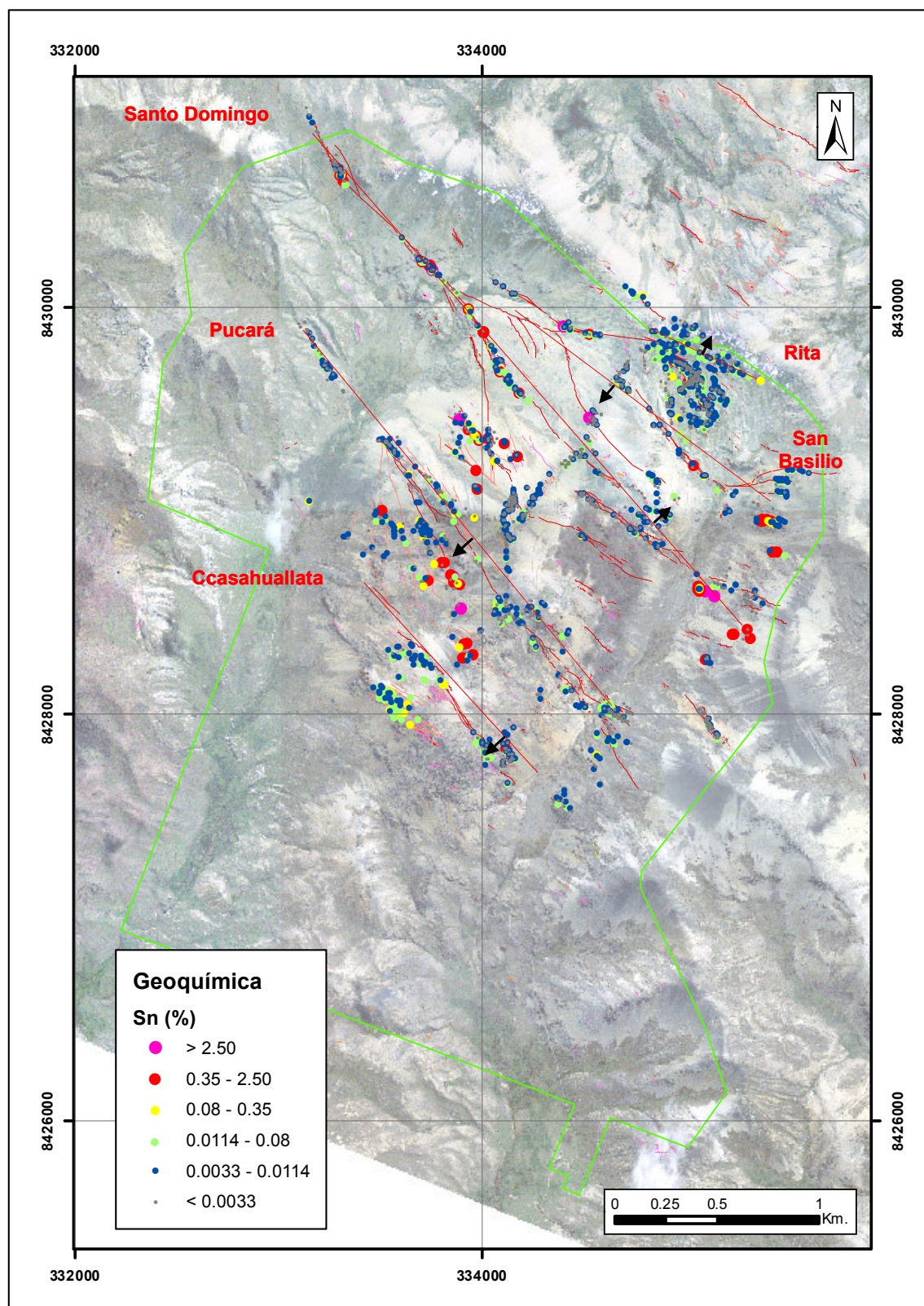


Figura 76: Plano geoquímico superficial de estaño (%)

Fuente: Minsur S.A., 2015

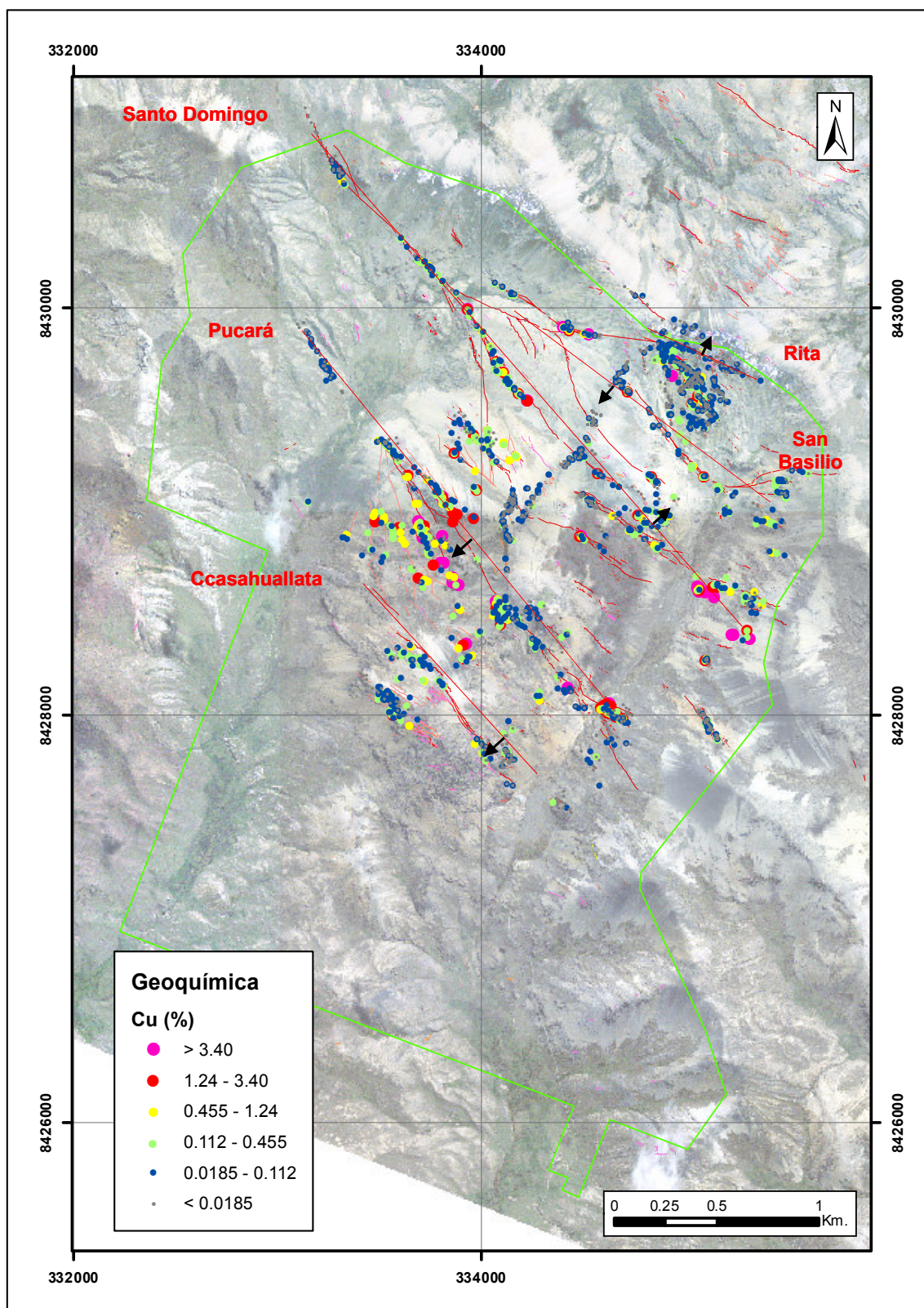


Figura 77: Plano geoquímico superficial de cobre (%)

Fuente: Minsur S.A., 2015

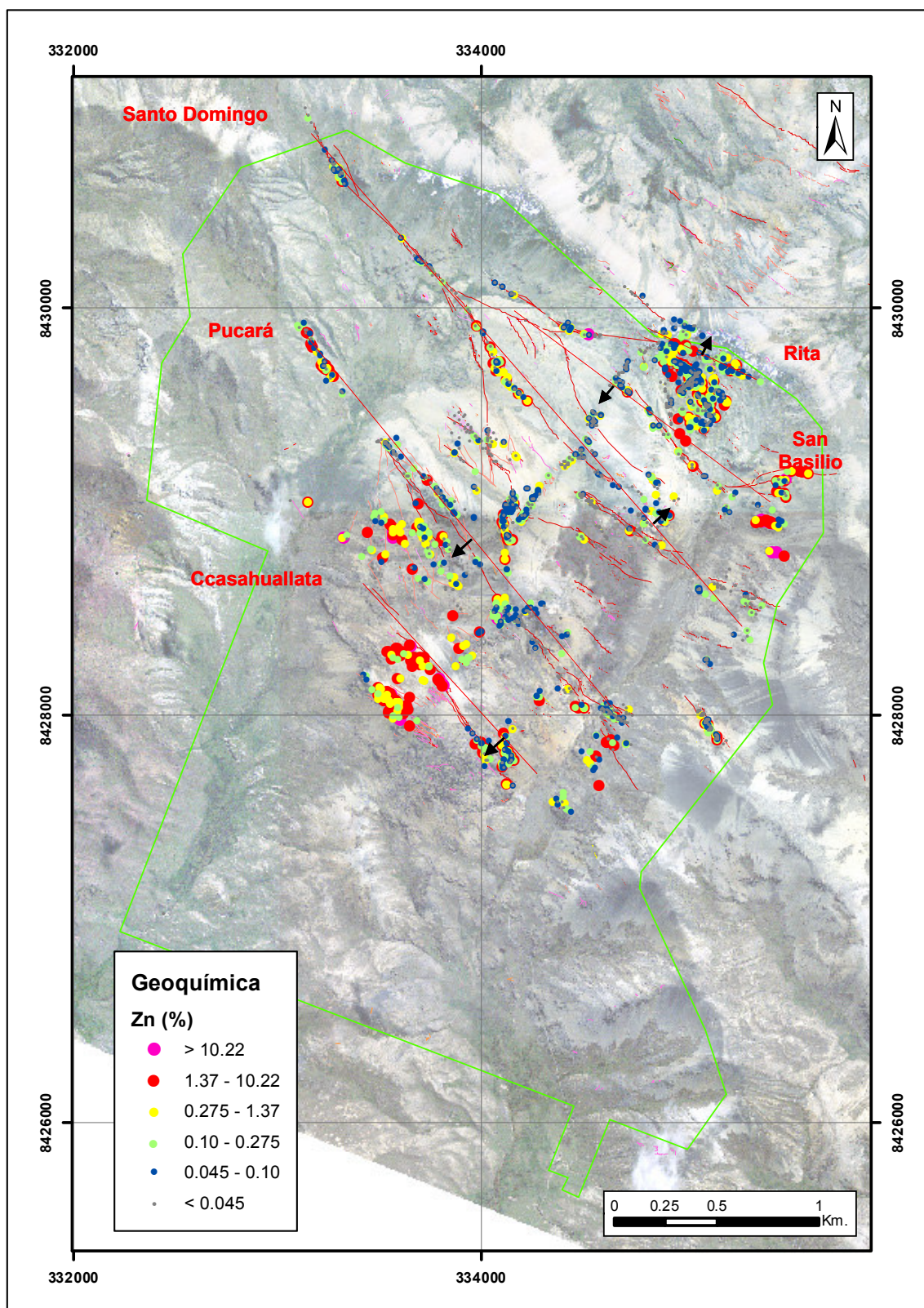


Figura 78: Plano geoquímico superficial de zinc (%)

Fuente: Minsur S.A., 2015

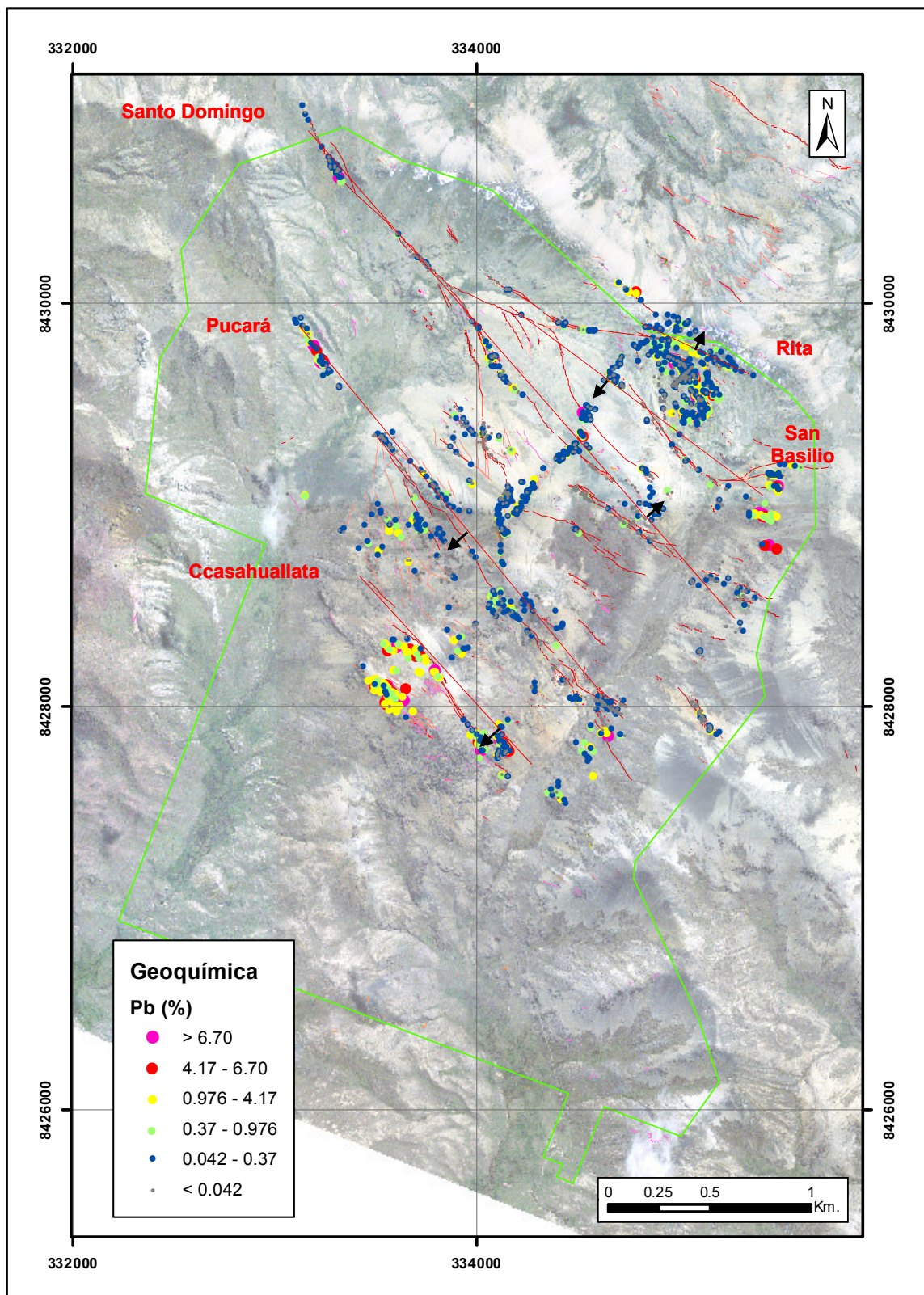


Figura 79: Plano geoquímico superficial de plomo (%)

Fuente: Minsur S.A., 2015

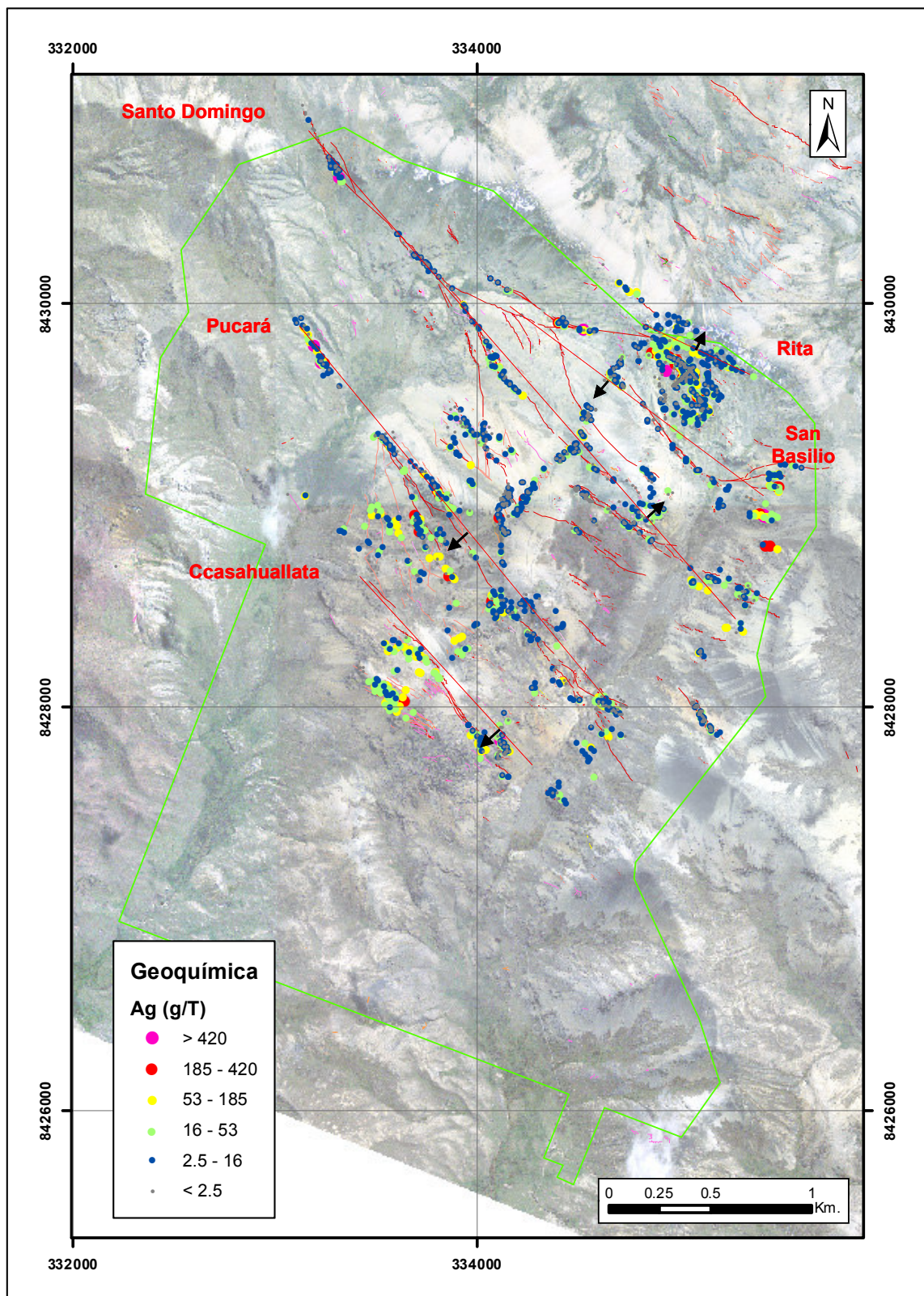


Figura 80: Plano geoquímico superficial de plata (g/T)

Fuente: Minsur S.A., 2015

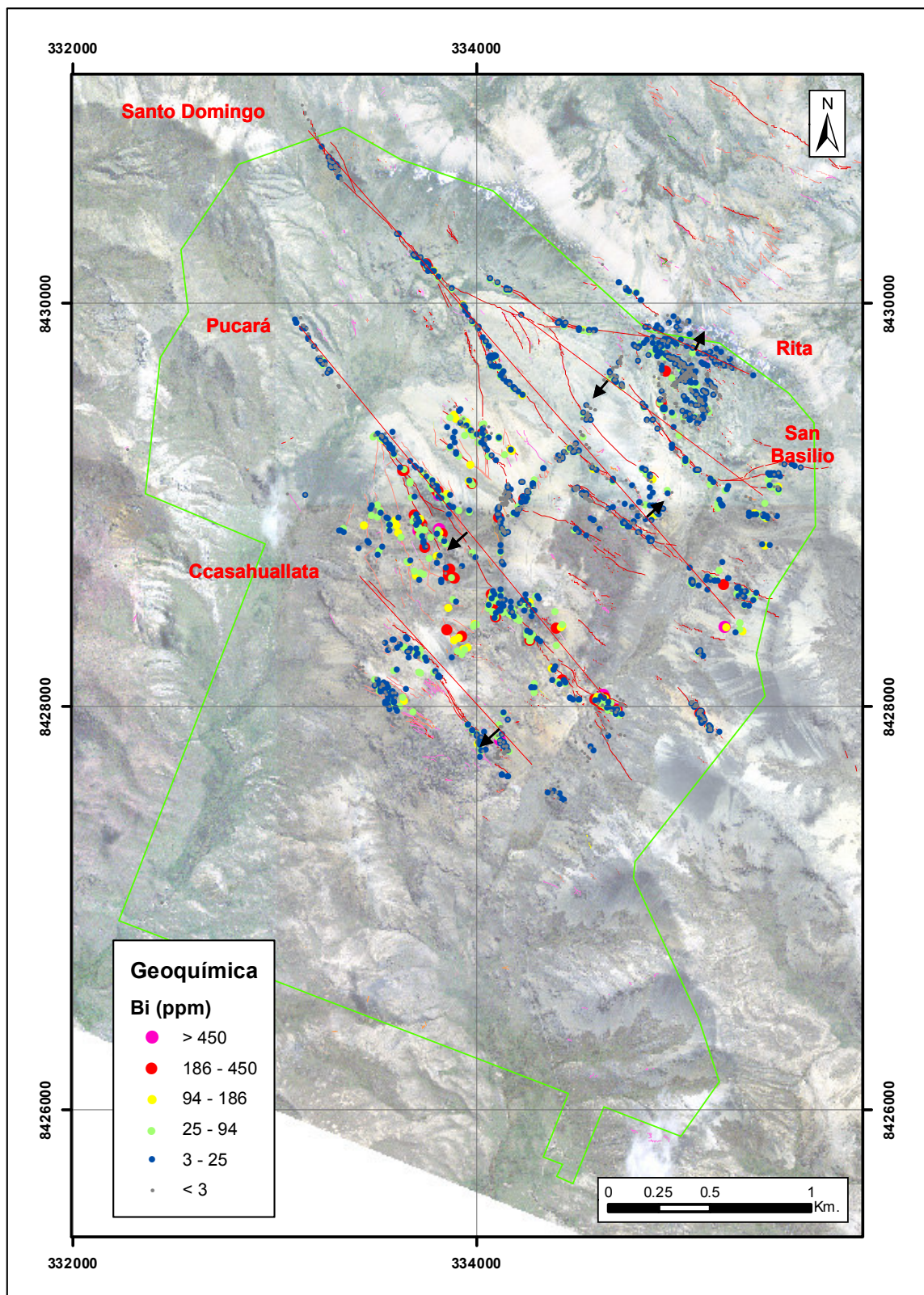


Figura 81: Plano geoquímico superficial de bismuto (ppm)

Fuente: Minsur S.A., 2015

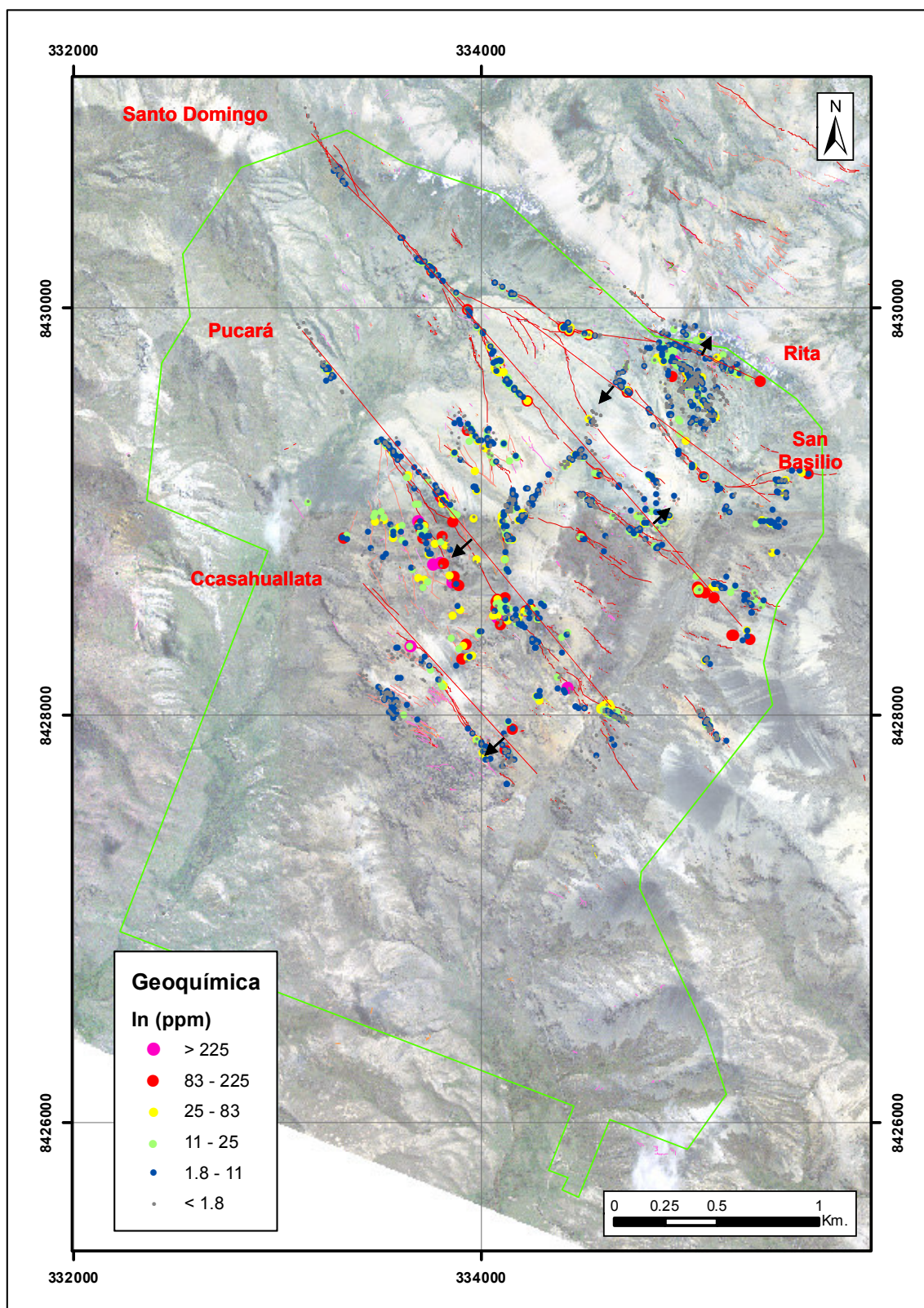


Figura 82: Plano geoquímico superficial de indio (ppm)

Fuente: Minsur S.A., 2015

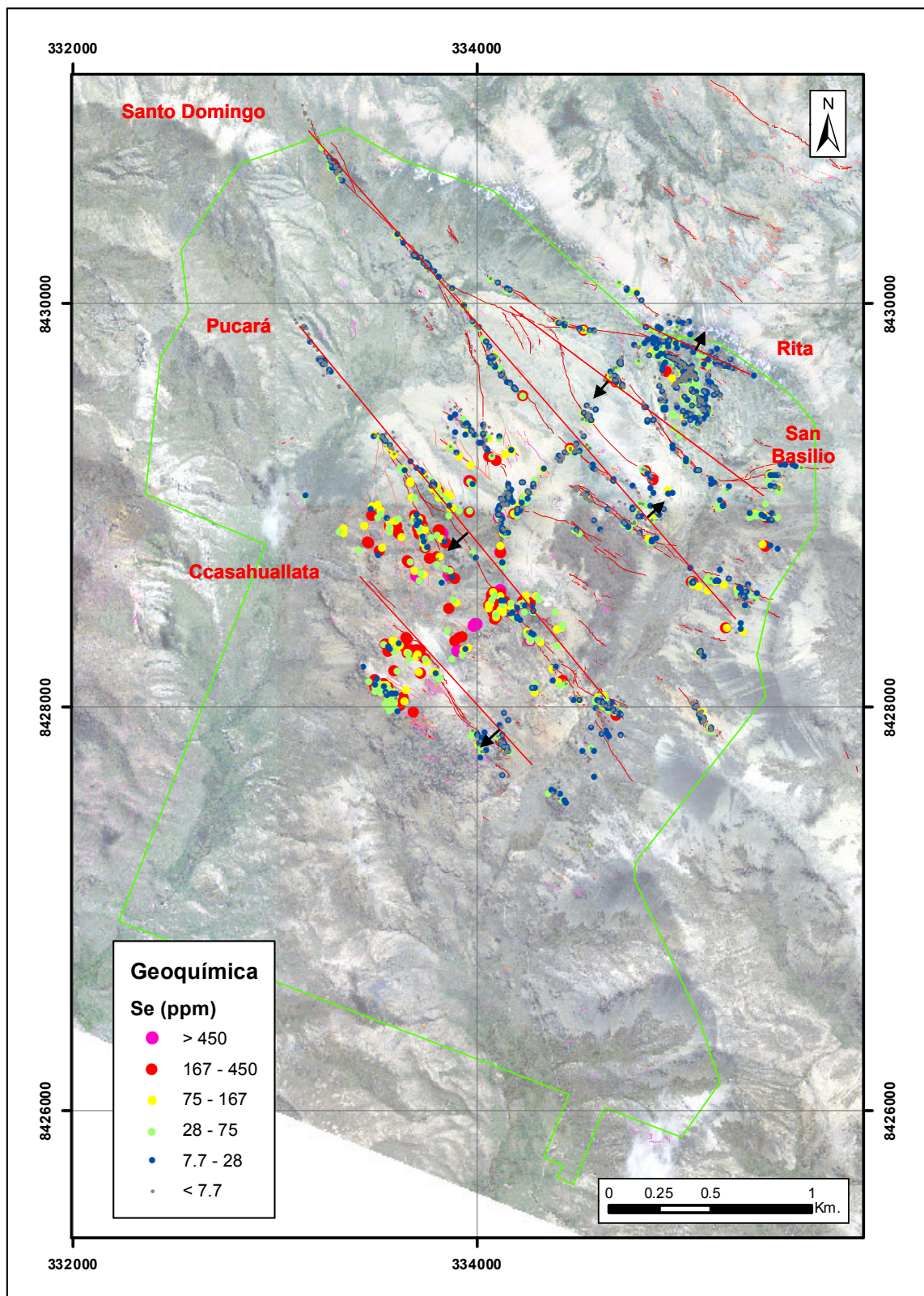


Figura 83: Plano geoquímico superficial de selenio (ppm)

Fuente: Minsur S.A., 2015

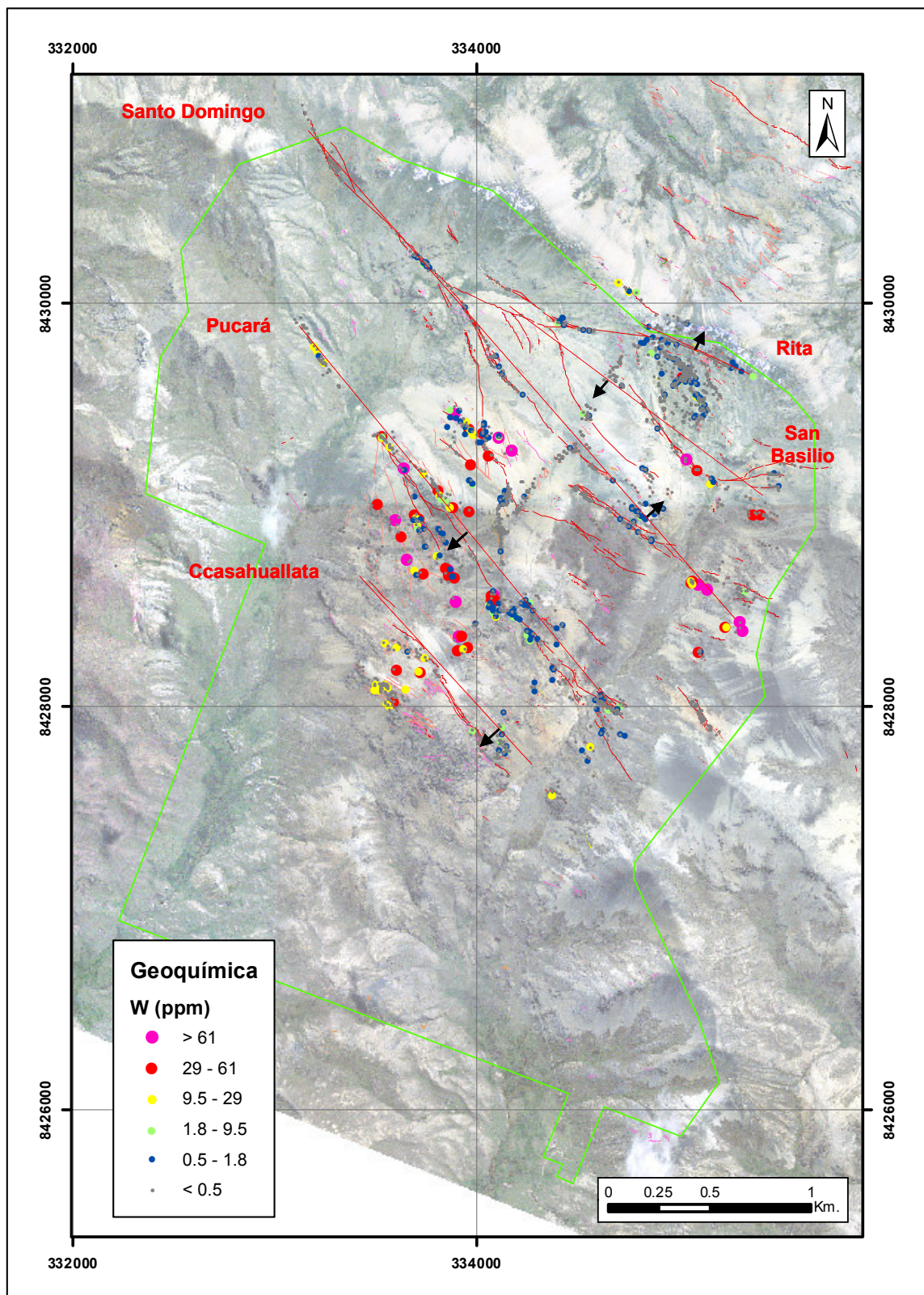


Figura 84: Plano geoquímico superficial de tungsteno (ppm)

Fuente: Minsur S.A., 2015

6.1.1. Geoquímica superficial del sistema Ccasahuallata

Los mejores resultados geoquímicos de superficie y subterráneo (Galería 655) obtenidos en la campaña del 2014-2015 demuestran el predominio superficial de Zn-Pb-Ag en el sistema Ccasahuallata.

Cuadro 6: Resultados geoquímicos de superficie del sistema Ccasahuallata

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
426	201	1.39	4.10	0.24	18.00	Veta de SP-CCP de 20cm con 175/58°, caja de MZG MOD CL.
2491	57	0.34	2.08	0.07	34.00	VN (185°/84°) de 17cm, SP (20%) + APY (5%) + PY (3%) + CCP (<1%) + ST FEOX (GT) FR emplazados en SLA, WK QZ VLT, WK CL MT
2513	21	0.54	0.067	0.01	20.70	VN (142°/78°) de 7cm, SP (15%) + APY (5%) + PY (1%) + CCP (<1%), MOD FEOX (GT) FR emplazados en SLA, MOD CL MT
2559	190	0.20	12.15	0.06	20.90	Veta oxidada FEOX-SP(10%)-PY(7%)-GN(5%) con 93/78°.

Fuente: Minsur S.A., 2015

Cuadro 7: Resultados geoquímicos de subterráneo del sistema Ccasahuallata

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
188296	62	0.22	4.01	0.01	8.17	VN SUL (SP 25%, PY 3%, CCP < 1%), con CL en MZG.
188309	175	0.18	6.31	0.02	16.20	VN SP (18%) + DS y VLT CCP (1%), y WK VLT CAL < 5mm. Roca caja MZG MOD AR y WK CL.
188317	22	0.13	0.18	0.01	6.01	VN SUL (SP 35%, PY 7%, CCP 1%) + VLT QZ de 2mm + FEOX (LIM) en FR. WK CL.
188321	6	0.03	0.21	0.09	5.40	MZG grano fino MOD CL, MOD AR con ST VLT SULP (SP 6%) de 1cm.

Fuente: Minsur S.A., 2015

Para el análisis estadístico se tienen los siguientes datos: brechas (10), ígneos (28), metamórficos (60) y estructuras (145) totalizando 243 muestras.

a) Correlaciones multivariantes – Estructuras mineralizadas

El gráfico de correlación multivariable de estructuras mineralizadas nos indica que las correlaciones para el estaño son:

- Muy fuerte: Ninguna.
- Fuerte: Ag.
- Moderado: Bi, Cd, Cu, Hg, Pb, Se, Zn.
- Débil: Be, Fe, Ge, In, S, Sb, Te, Tl.

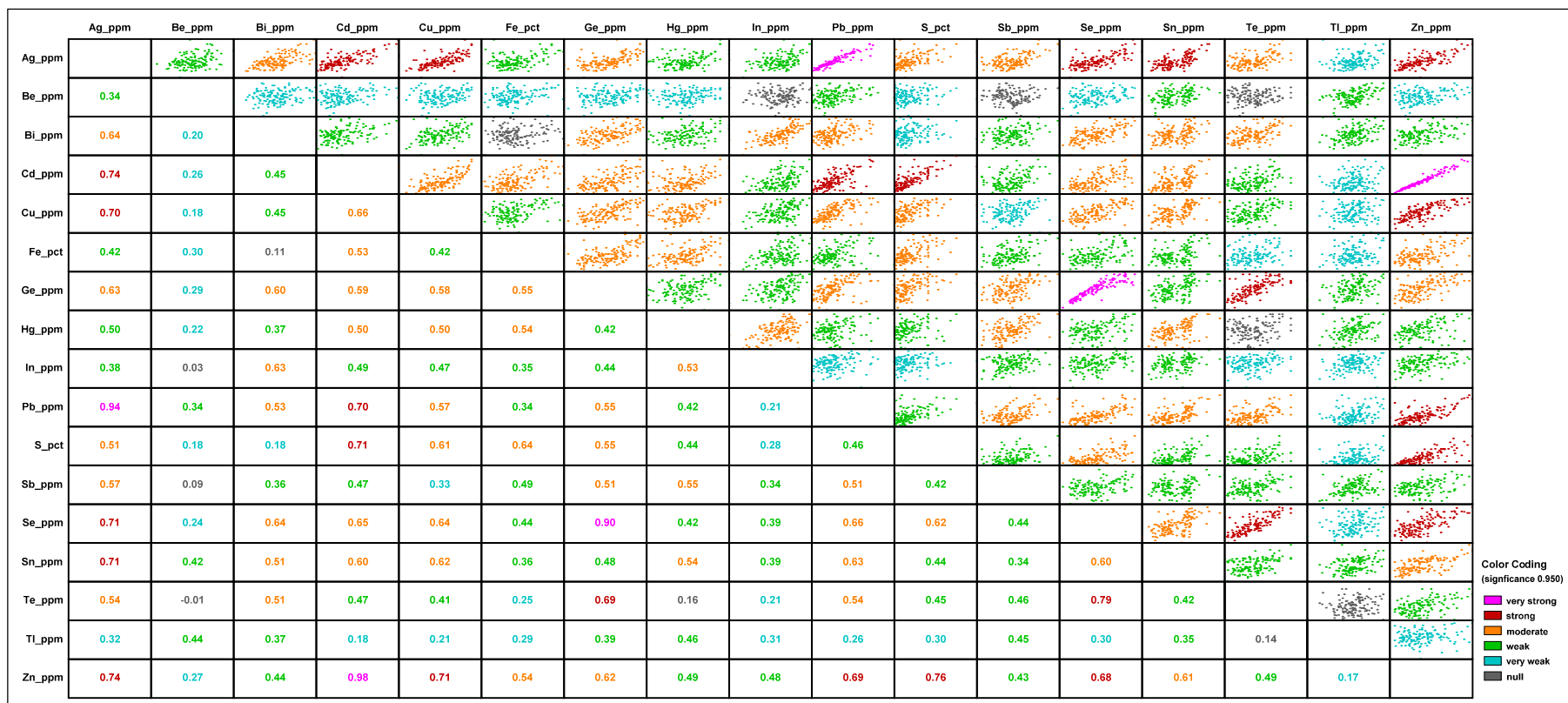


Figura 85: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del sistema Ccasahuallata

Fuente: Elaboración propia

b) Histogramas – Estructuras mineralizadas

Se consideró los elementos químicos establecidos para la población total.

Según los rangos geoquímicos de la población total se observan diferencias. El W, Sn y el Cu son los elementos que presentan valores menores respecto a la población total. El Sn presenta dos modas, mientras que el Ag, Pb y Zn presentan asimetría negativa.

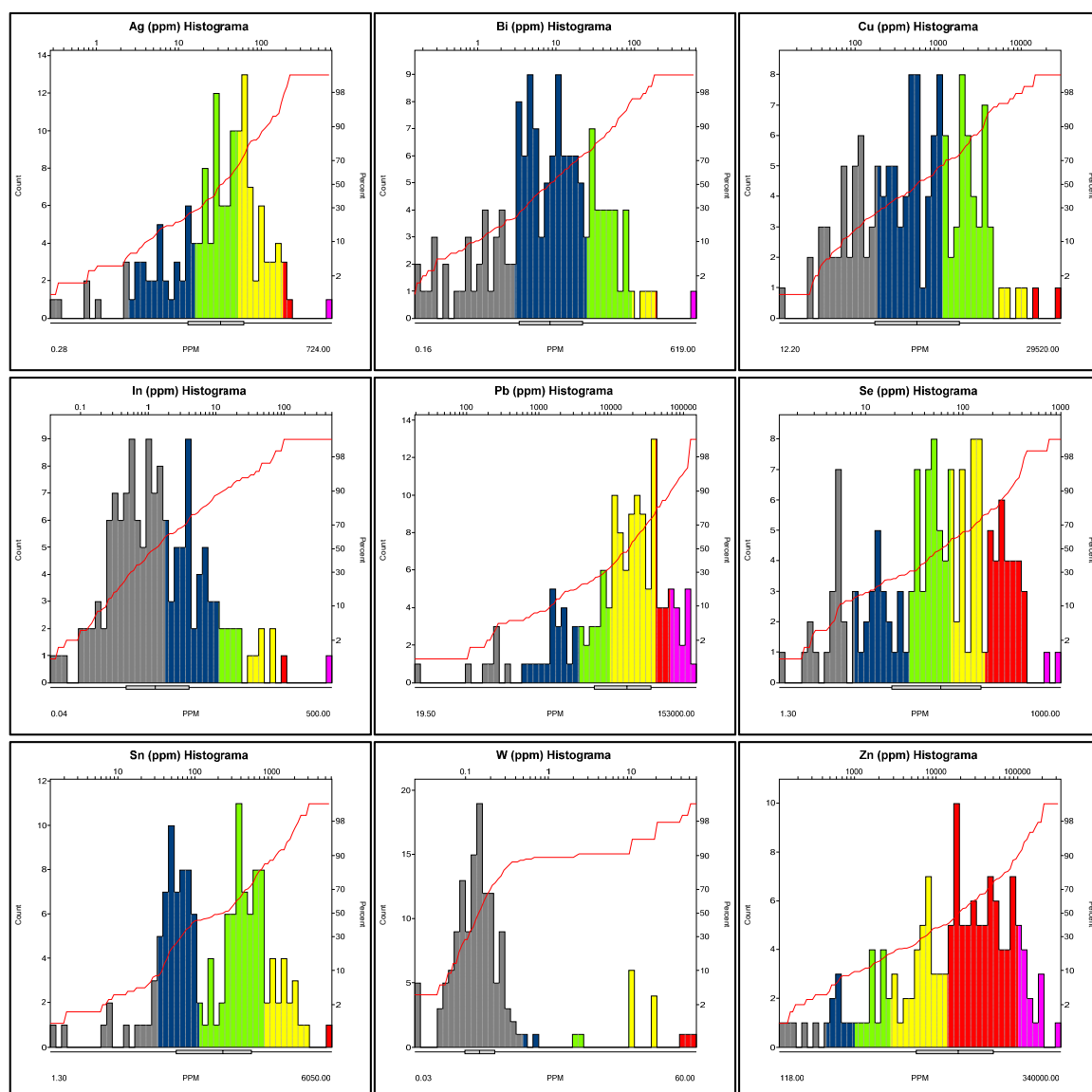


Figura 86: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Ccasahuallata

Fuente: Elaboración propia

c) Box Plot – Litología

Se define que las rocas metamórficas (M) son malas rocas cajas para albergar la mineralización. La mineralización de esfalerita y galena está presente en las brechas y las rocas ígneas (parches y venillas), mientras que la mineralización de casiterita está asociada a las rocas ígneas y estructuras mineralizadas.

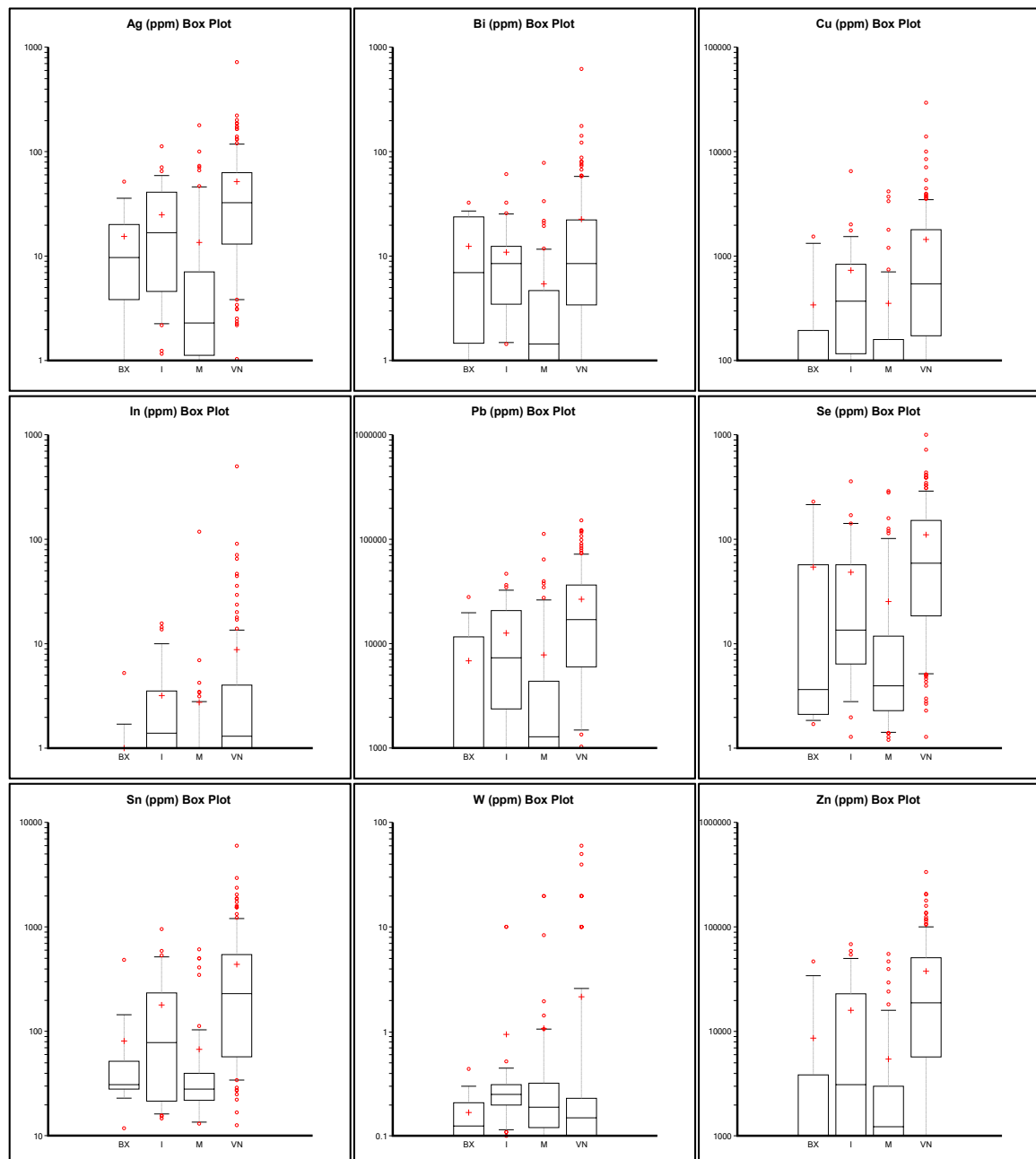


Figura 87: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas en el sistema Ccasahuallata

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Geoquímica superficial del sistema Pucará

Los mejores resultados geoquímicos de superficie y subterráneo (Galerías 692-770) obtenidos en la campaña del 2014-2015 demuestran el predominio superficial de Cu-Sn en el sistema Pucará.

Cuadro 8: Resultados geoquímicos de superficie del sistema Pucará

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
2298	123	16.76	0.02	5.09	0.44	Veta QZ-CCP(20%)-PY(0.5%) con 320/72°.
2299	60	1.15	0.01	2.41	0.19	VNBX INS QZ>CL-PY(2%)-CCP(1%)-FEOX, WK AR. VNBX con 0/53°.
2307	57	5.07	0.05	1.55	0.21	Veta QZ>CL-CCP(10%)-CUOX de 315/68°.
2476	27	0.75	0.04	6.62	0.03	VNBX CLAC SLA, MTX QZ>>CL-PY(1%)-CCP(1%)-FEOX-GT con 325/65°.
2480	23	0.51	0.09	1.81	0.46	VN (305°/77°) de 12cm, PY (1%) + GN (<0.1%) + MOD FEOX (GT) FR emplazados en MZG, WK QZ VLT, MOD CL MT

Fuente: Minsur S.A., 2015

Cuadro 9: Resultados geoquímicos de subterráneo del sistema Pucará

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
188133	35	4.28	0.01	4.80	0.10	Falla en MZG con panizo e ST DS de SULP (PY, CCP) < 1%
188150	139	15.89	0.00	0.28	0.28	Veta de SULP (4% CCP, 5% PY, 1% BN) + VLT de QZ lechoso de 2cm
188158	48	7.39	0.00	0.03	0.13	Veta (0.15m) de SULP (10% PY, 5% APY, 1% CCP, SP < 1%) ST CL e ST FEOX (LIM)
188182	18	1.59	0.00	3.39	0.04	MZG ST CL con PA SULP de 5cm (PY 10%, CCP 1%), WK FEOX (LIM)
188245	95	10.98	0.00	0.02	0.26	VN SULP (PY 50%, CCP 35%) + QZ + FEOX (LIM, GT, HEM)

Fuente: Minsur S.A., 2015

a) Correlaciones multivariantes – Estructuras mineralizadas

El gráfico de correlación multivariable de estructuras mineralizadas nos indica que las correlaciones para el estaño son:

- Muy fuerte: Ninguna
- Fuerte: Ag, Cu, In, W.
- Moderado: Ninguna
- Débil: Bi, Ge, Hg, Pb, Se, Te, Zn.

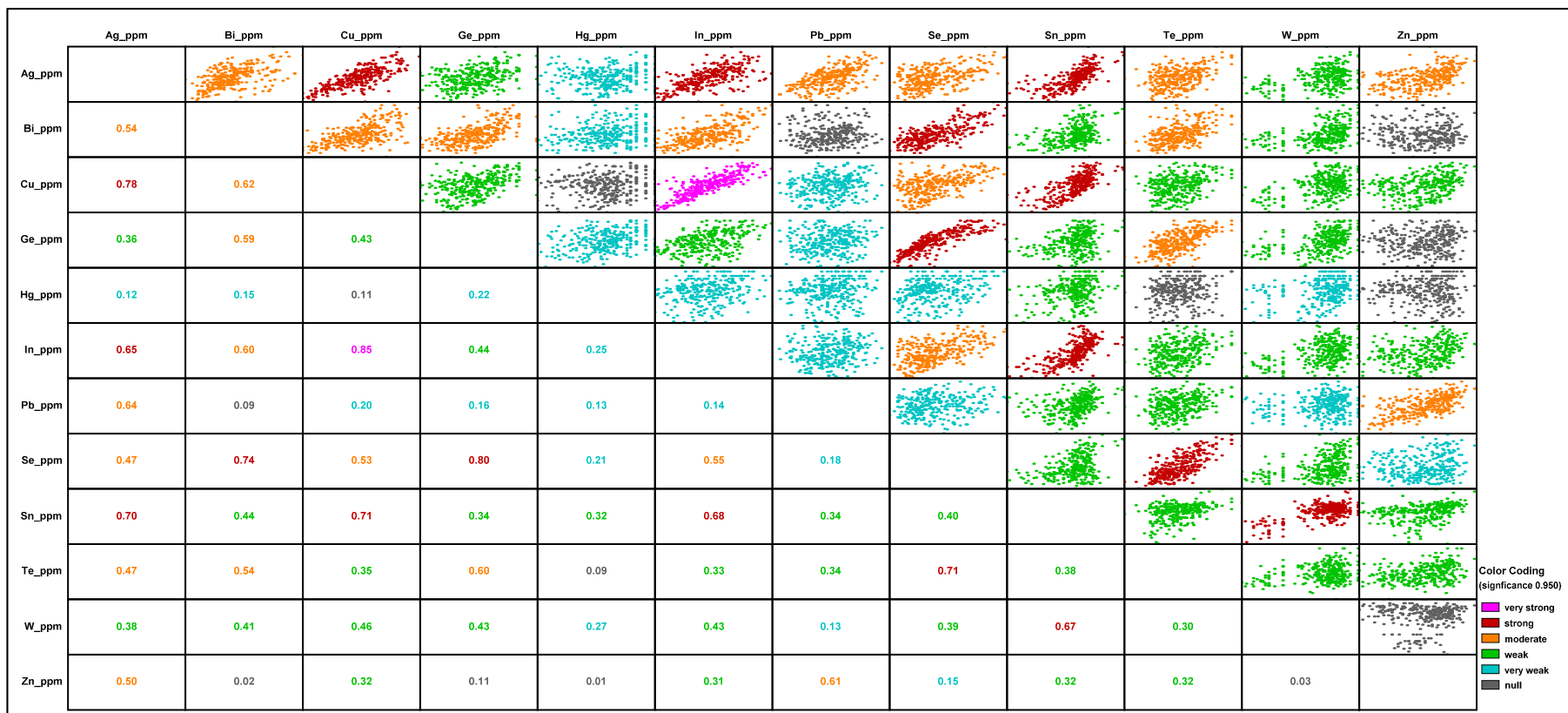


Figura 88: Correlación multivariables de estructuras mineralizadas del sistema Pucará

Fuente: Elaboración propia

b) Histogramas – Estructuras mineralizadas

Se consideró los elementos establecidos para la población total. Según los rangos geoquímicos de la población total no se observan diferencias significativas.

El Sn, W y Zn presentan asimetría positiva, mientras que el Bi y Se presentan asimetría negativa. El Cu, Pb, In y Ag presentan simetría.

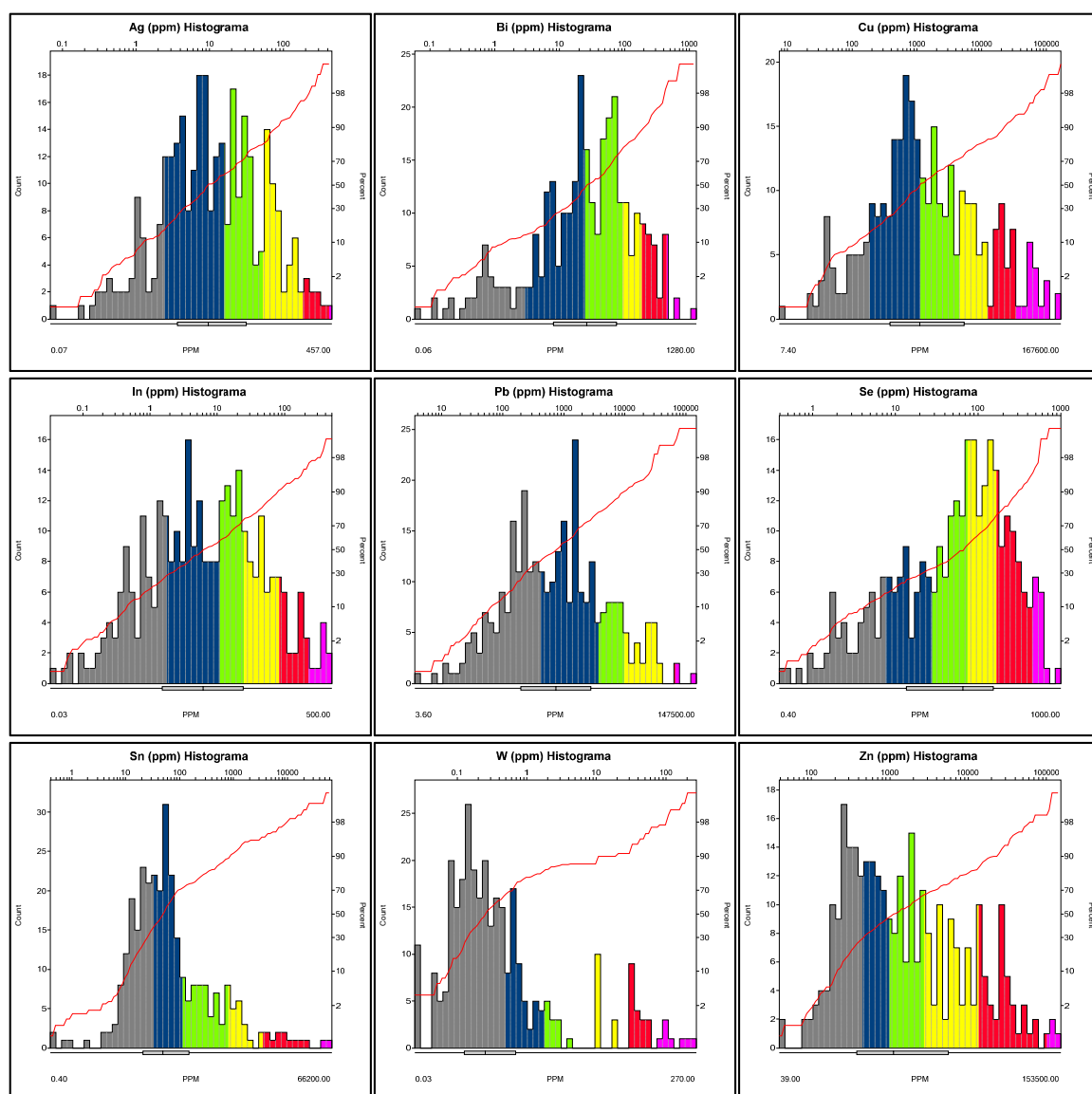


Figura 89: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Pucará

Fuente: Elaboración propia

c) Box Plot – Litología

Se define que las rocas metamórficas (M) son malas rocas cajas para albergar la mineralización.

La mineralización de esfalerita y galena es débil en las brechas del sistema Pucará, mientras que la mineralización de casiterita está asociada a estructuras mineralizadas y en menor proporción a brechas.

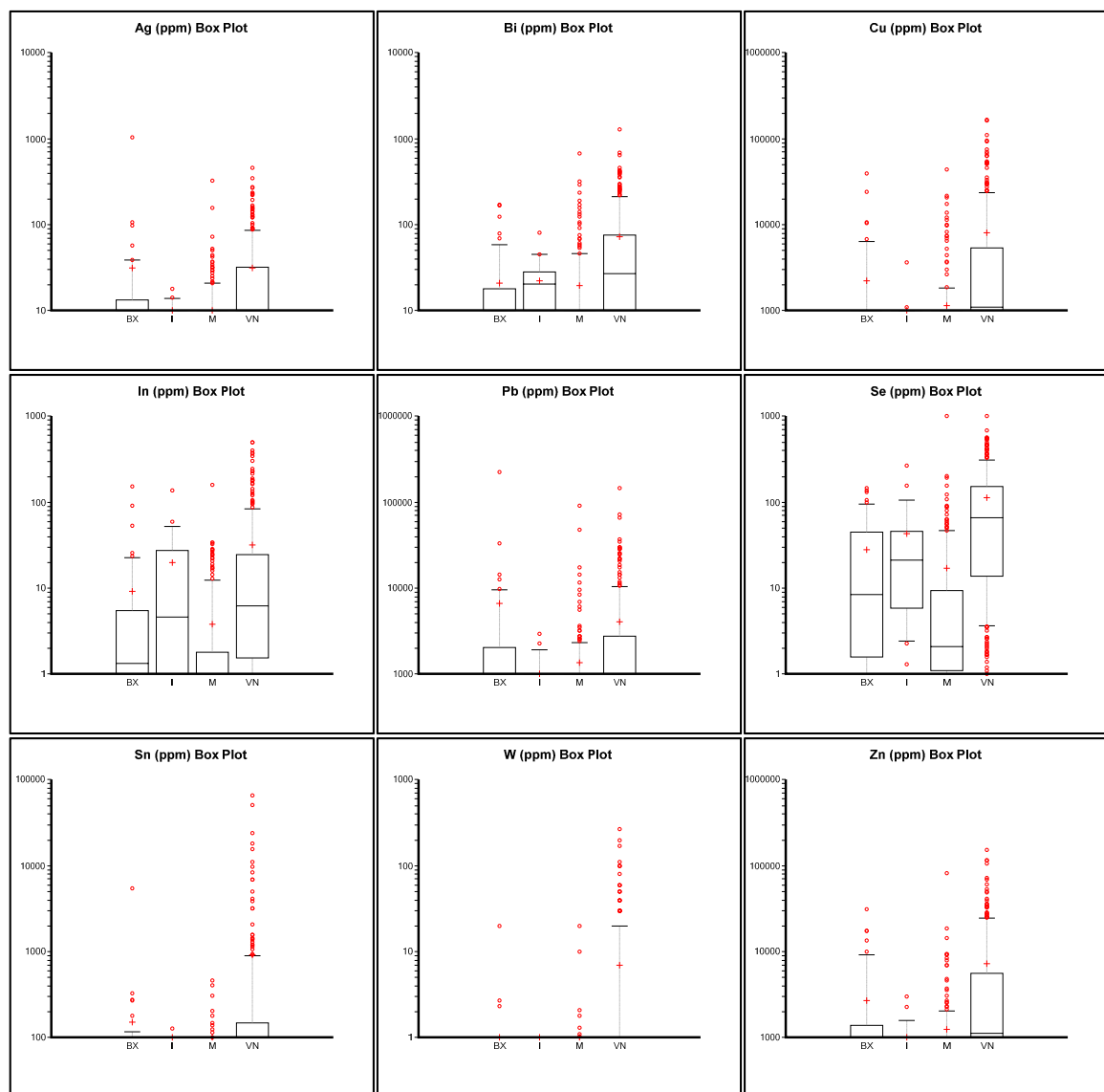


Figura 90: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Pucará

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Geoquímica superficial del sistema Santo Domingo

Los mejores resultados geoquímicos de superficie y subterráneo (Galerías 817N – 575S) obtenidos en la campaña del 2014-2015 demuestran el predominio superficial de Cu-Sn en el sistema Santo Domingo.

Cuadro 10: Resultados geoquímicos de superficie del sistema Santo Domingo

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
183	92	0.04	7.38	3.75	0.50	VN (315/68) AR PER, FEOX MOD FR, (APY-PY-GN) DI
2106	76	8.80	0.03	7.14	0.12	VLT QZ-CL-PO en MZG grano fino con 120/54°.
2243	38	0.08	0.51	3.83	0.03	VLT QZ-CL-PY(1%)-FEOX de 280/80°.
1341	146	7.47	0.07	0.12	0.25	VN (87°) con CCP 20%- PY 15%- SP 10%- PO 5%- APY 2%; FEOX (GT-JAR) MOD FR y PA; AR WK en oquedades.
2104	58	11.17	0.01	1.53	0.06	VLT CL-QZ-PY de 4cm con 115/67°.

Fuente: Minsur S.A., 2015

Cuadro 11: Resultados geoquímicos de subterráneo del sistema Santo Domingo

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
188380	290	14.77	0.06	0.17	0.34	VN SUL (PY 50%, PO 5%, APY 15%, CCP 5%, BN 1%), en MZG WK SI y WK CL, con FEOX (LIM, GT) 5% en FR
188385	80	4.47	0.04	0.03	0.19	VN CAL (20%) + SUL (PY 15%, CCP 5%, PO 1%, BN < 1%) + WK QZ CL y WK FEOX (GT, LIM)
188423	37	0.90	0.67	0.04	1.80	SLA craquelado, VLT PY, CCP, SP
188426	32	0.15	1.65	0.02	1.63	VN, SULP (PY, CCP), DS GN
188418	35	1.92	0.08	0.01	0.28	VN, DS CCP, PY, WK FEOX

Fuente: Minsur S.A., 2015

a) Correlaciones multivariantes – Estructuras mineralizadas

El gráfico de correlación multivariable de estructuras mineralizadas nos indica las correlaciones que para el estaño son:

- Muy fuerte: Ninguna.
- Fuerte: Cu, In.
- Moderado: Ag, Bi, W.
- Débil: Fe, Ge, Hg, Mo, S, Se, Te, Tl.

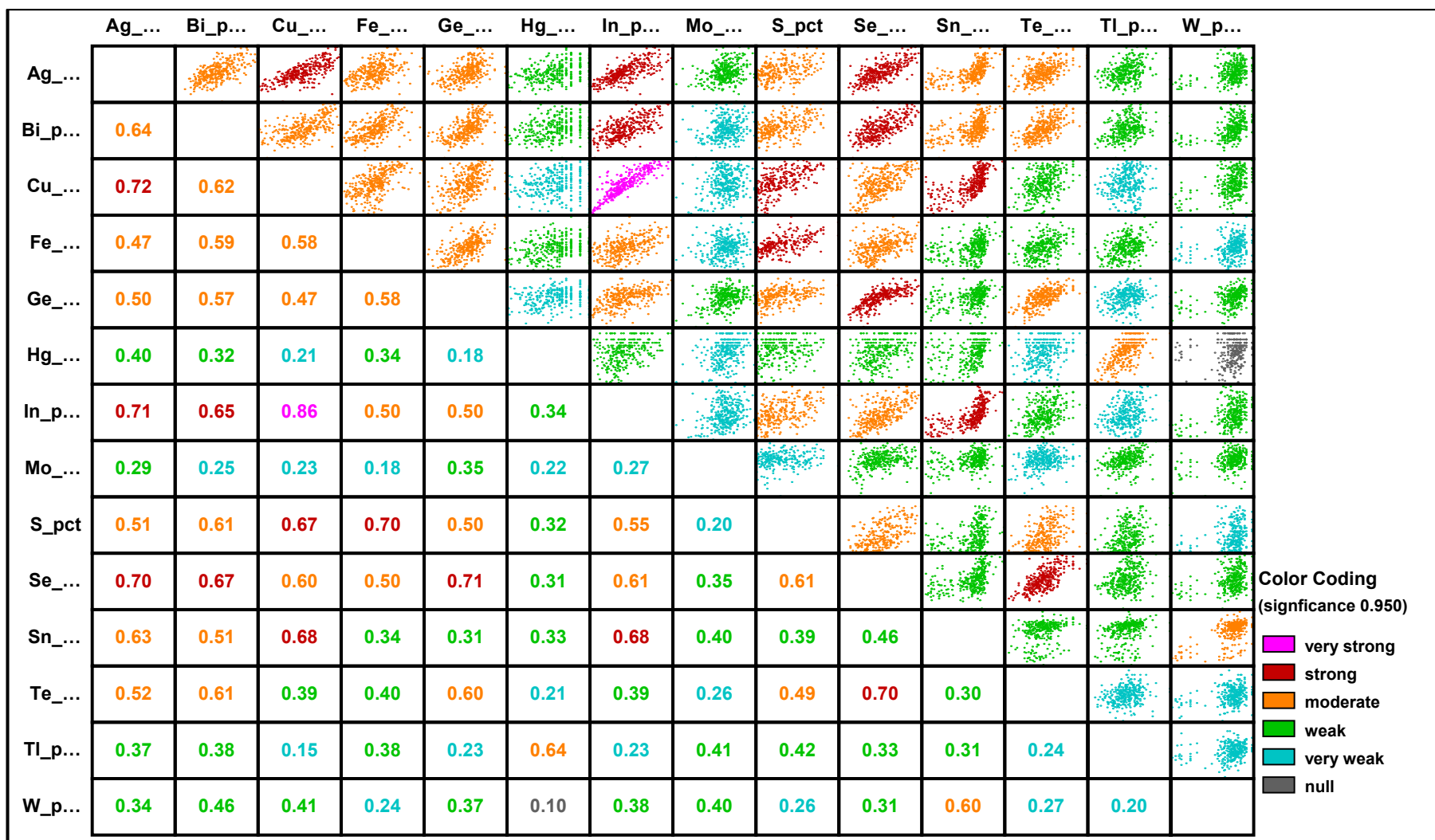


Figura 91: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

b) Histogramas – Estructuras mineralizadas

Se consideró los elementos establecidos para la población total. Según los rangos geoquímicos de la población total no se observan diferencias significativas.

El Sn, W y Zn presentan asimetría positiva, mientras que el Bi, In y Se presentan una ligera asimetría negativa. El Cu, Pb y Ag presentan simetría.

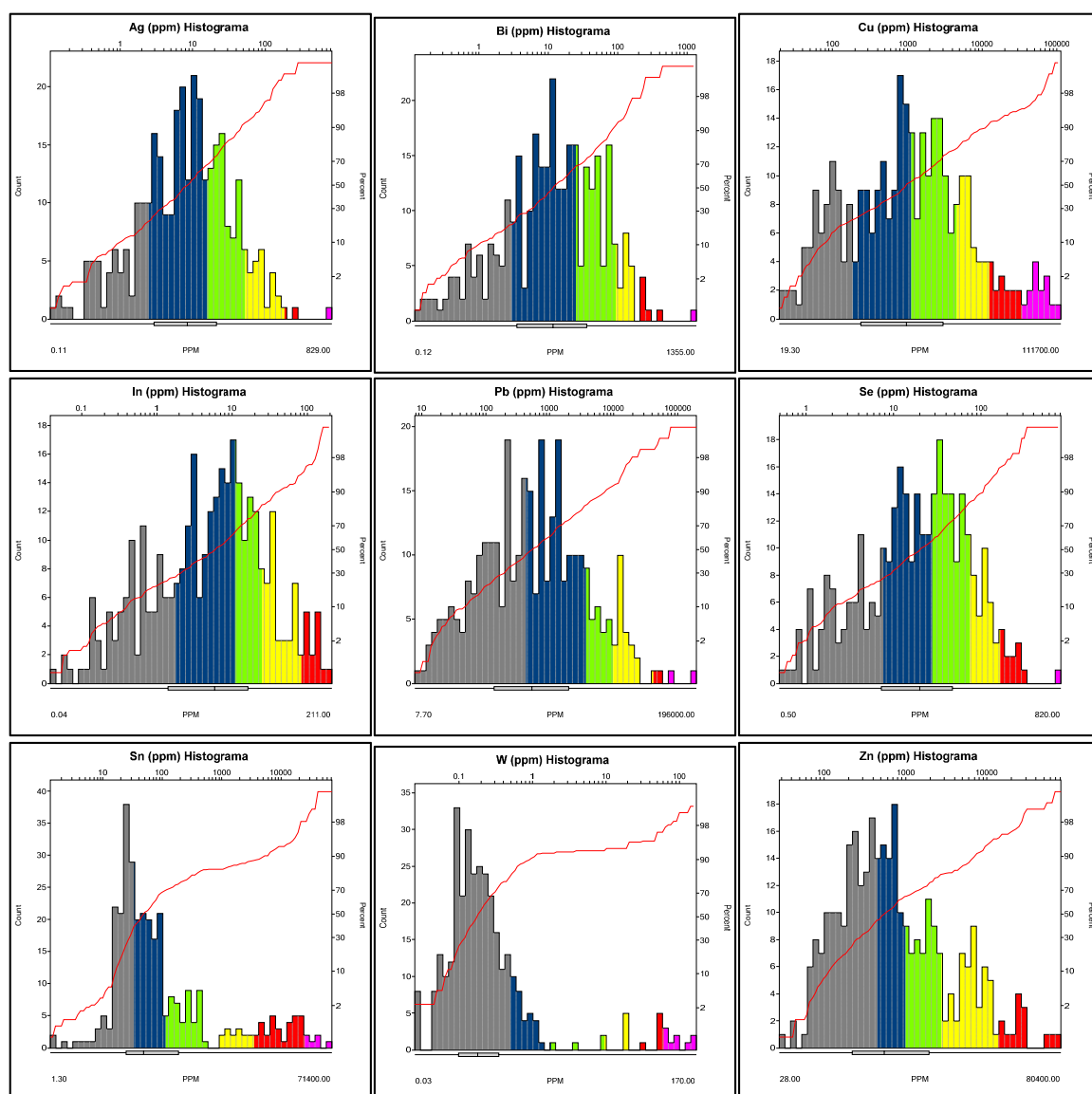


Figura 92: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

c) Box Plot – Litología

La casiterita en superficie presenta una mejor distribución en las estructuras mineralizadas (VN) que en el resto de litologías.

En rocas sedimentarias (4 muestras) hay presencia de venillas de esfalerita y galena.

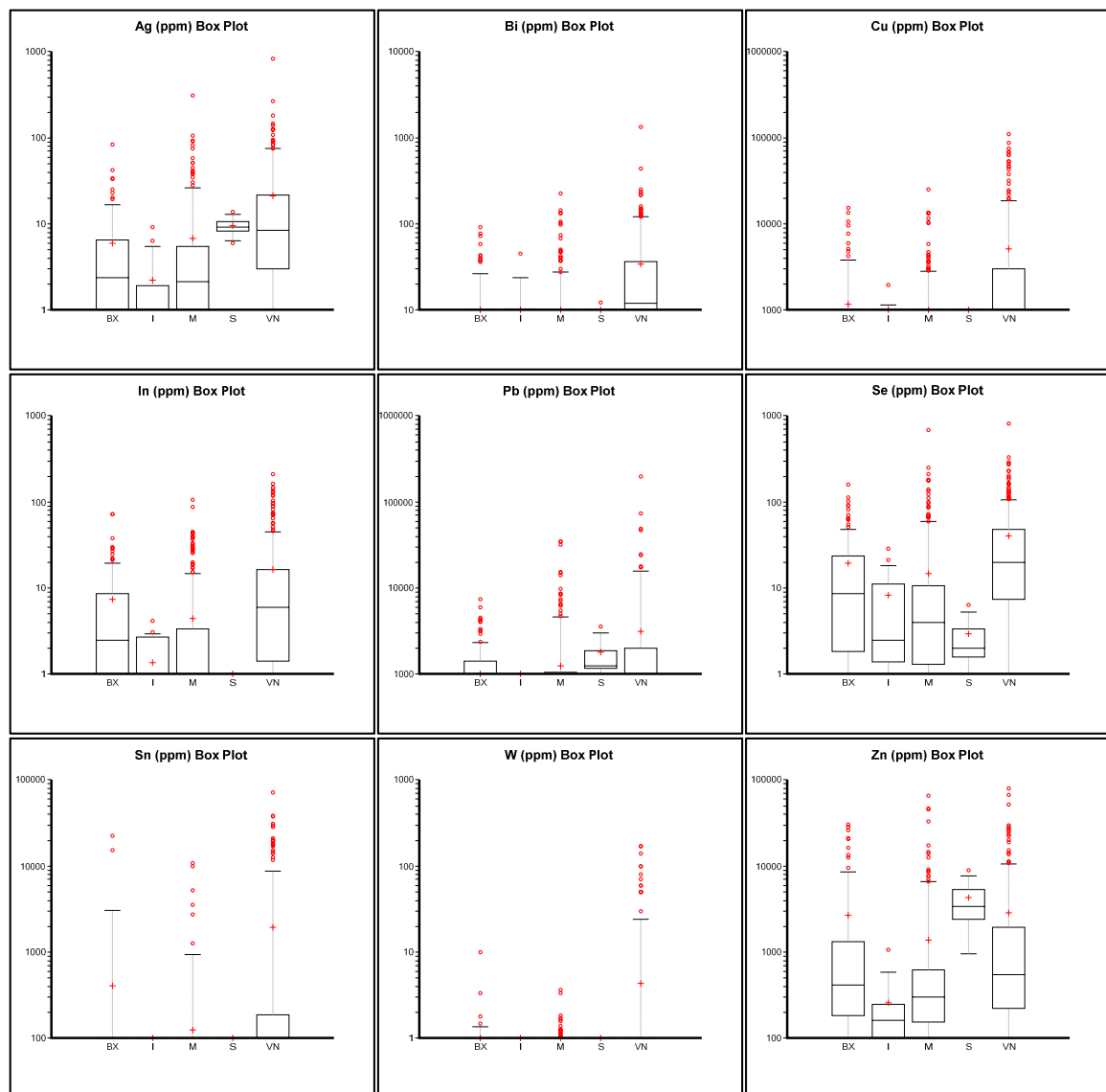


Figura 93: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Geoquímica superficial del sistema San Basilio

Los mejores resultados geoquímicos de superficie y subterráneo (Galerías 788 - 815) obtenidos en la campaña del 2014-2015 demuestran el predominio de Zn -Pb- Cu+-Sn en el sistema San Basilio.

Cuadro 12: Resultados geoquímicos de superficie en el sistema San Basilio

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
51	209	5.24	0.03	7.96	0.36	Veta de QZ-CL-CCP(8%)-CST(6%)-PY(5%)-SP(2%)
4753	573	0.48	18.15	0.16	23.70	Veta QZ>CL-GN-PY(5%)-CCP(1%)-FEOX con 290/85°.
4756	80	0.08	2.72	0.58	17.35	VNBX QZ>CL-CAL-GN(10%)-SP(5%)-PY(2%)-CCP(1%) con 80/81° cortada por VLT QZ-APY.
33	495	6.29	3.86	1.92	15.45	SLA (techo) WK SI, PA CL-PY y GN 0.5%.
4749	780	0.92	28.80	0.24	13.05	Veta GN-PY(10%)-CCP(2%)-SP(2%) con 310/71°, WK FEOX en FR.

Fuente: Minsur S.A., 2015

Cuadro 13: Resultados geoquímicos de subterráneo en el sistema San Basilio

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
188013	230	9.10	0.08	2.02	2.46	Veta de SUL (CCP > PY, PO, APY) con WK PA de SP y VWK CAL en FR
188010	59	1.27	0.17	0.02	21.50	VNBX con MTX de SUL (SP, PO, PY >> CCP, GN, APY) con fragmentos de SLA
188035	33	0.70	0.14	0.02	9.36	Veta de 0.12m de SUL (3% SP, < 1% GN, APY, <<1% CCP), con MOD VLT de CAL de 2cm, MOD VLT CL < 2mm
188073	54	0.05	2.70	0.01	3.26	Estructura compuesta de VLT de 1-4cm de SUL (GN, APY, PO >> CCP). SLA fresca.
188019	306	11.57	0.04	0.05	0.96	Veta de SUL (PY, PO >> CCP) con WK CAL en VLT

Fuente: Minsur S.A., 2015

a) Correlaciones multivariantes – Estructuras mineralizadas

El gráfico de correlación multivariable de estructuras mineralizadas nos indica que las correlaciones para el estaño son:

- Muy fuerte: Ninguna.
- Fuerte: Ag.
- Moderado: Cd, Cu, In, Pb, Sb, Se, Zn.
- Débil: As, Bi, Hg, S, Ti, W.

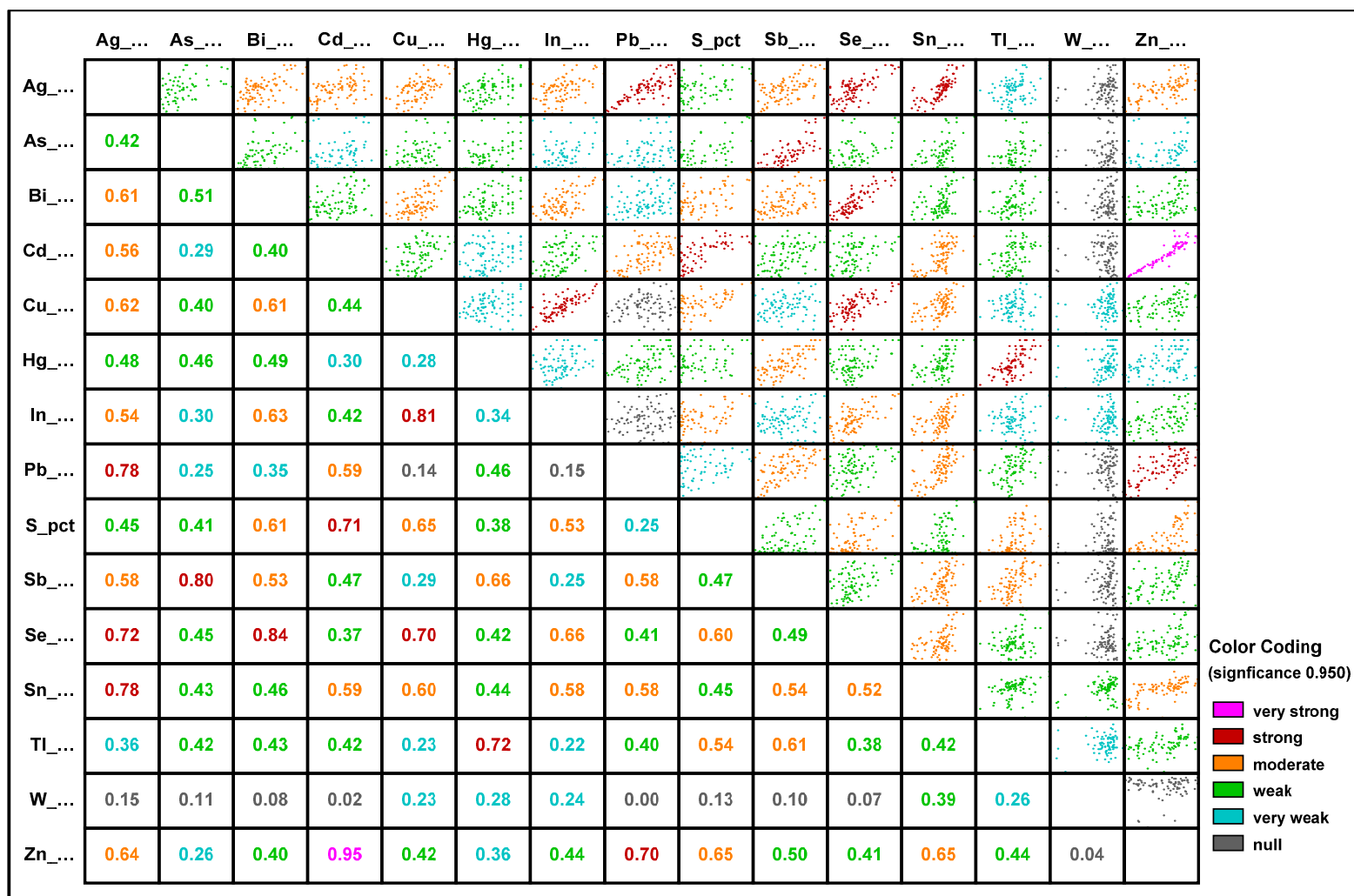


Figura 94: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del sistema San Basilio

Fuente: Elaboración propia

b) Histogramas – Estructuras mineralizadas

Se consideró los elementos establecidos para la población total. Según los rangos geoquímicos de la población total se observan diferencias en el Bi, In, Se y W.

El Sn y W presentan asimetría positiva, mientras que el Bi y Se presentan asimetría negativa.

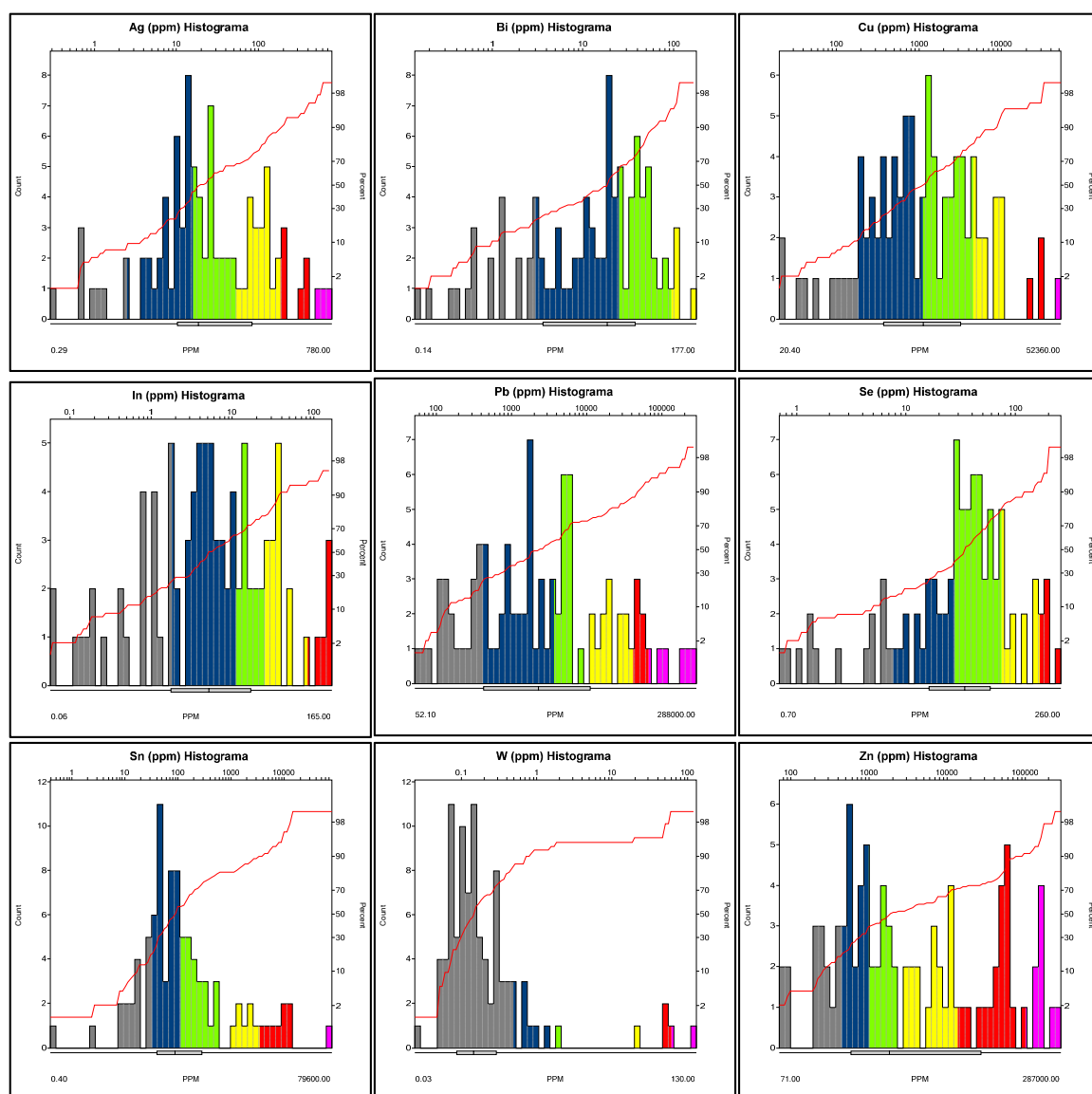


Figura 95: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema San Basilio

Fuente: Elaboración propia

c) Box Plot – Litología

No hay una buena distribución de la mineralización en la pizarra.

La casiterita en superficie presenta una mejor distribución en estructuras mineralizadas. Existe una buena distribución de Ag, Bi, Cu y Se en las brechas.

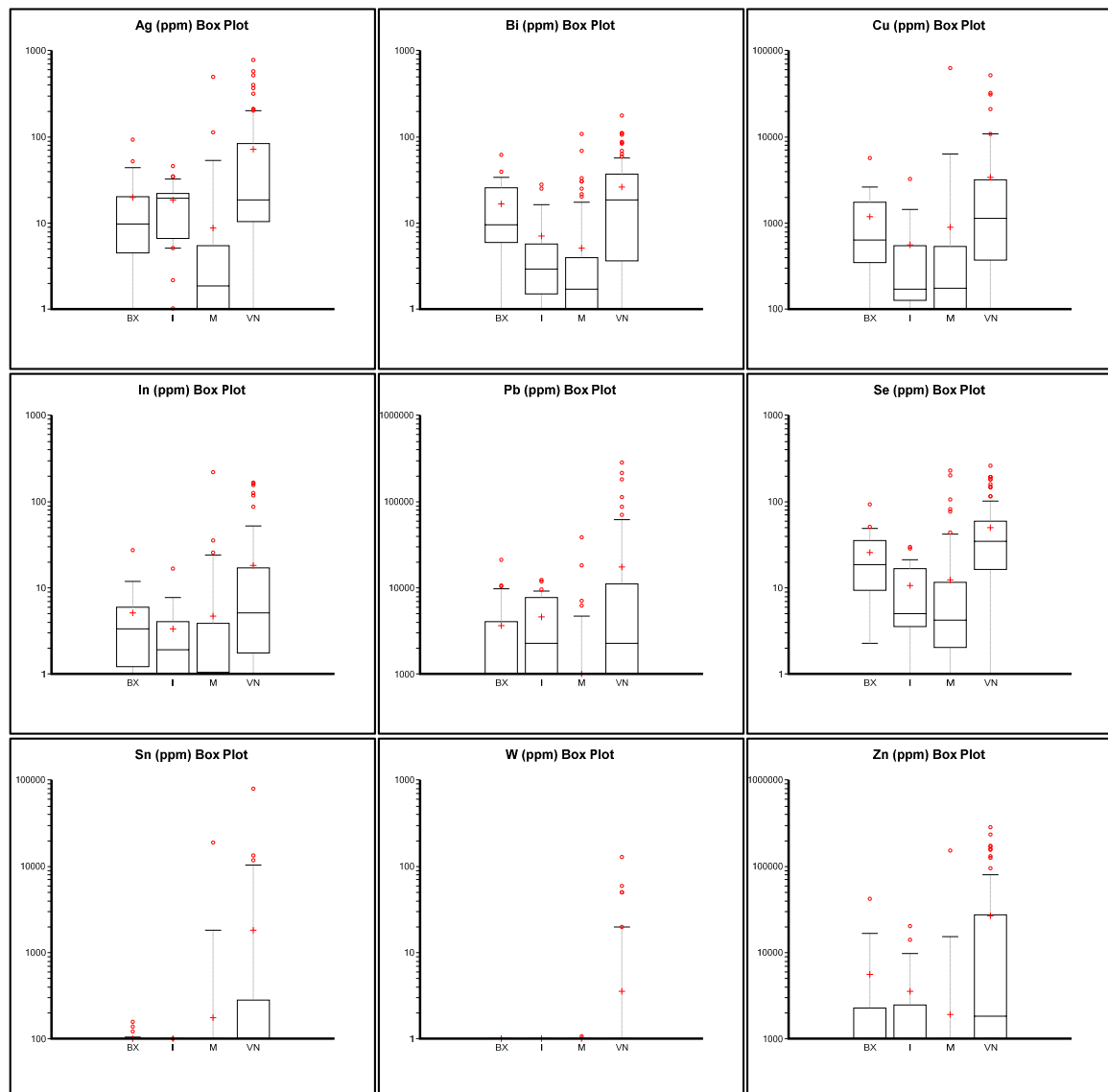


Figura 96: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema San Basilio

Fuente: Elaboración propia

6.1.5. Geoquímica superficial del sistema Rita

Los mejores resultados geoquímicos de superficie obtenidos en la campaña del 2014-2015 demuestran el predominio superficial de Zn-Pb-Cu-Sn en el sistema Rita.

Cuadro 14: Resultados geoquímicos de superficie en el sistema Rita

Muestra	Ag (ppm)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Zn (%)	Comentario
934	155	0.65	0.53	2.22	0.50	VN CL con SP(2%)-PY(0.5%)-CCP(0.5%)-FEOX en SLA. Veta de 8cm con 310/56°.
941	291	3.08	0.16	6.28	0.26	VLT corta SLA con QZ blanco- CL MOD, PY-CCP FEOX WK en oquedades; cloritización MOD
953	247	4.25	0.08	8.63	0.28	Estructura QZ CL masivo; PY 3%-CCP 2%- QZ WK - SP en VLT MOD, FEOX WK en oquedades (GT)
1219	548	4.67	0.63	0.28	1.84	VNBX (MTX) con FEOX (GT, LIM, HEM) + SULP (PY 20%, CCP 5%, APY 1%, CV < 1%, SP < 1%), presenta MOD AR en FR
1489	193	6.36	0.06	0.71	0.45	VN con CCP 10%- PY 8%- SP 2%-FEOX (GT) oquedades y FR MOD, CL- QZ WK en oquedades.
889	73	0.23	2.43	0.04	12.80	VN QZ-CL con SP(3%)-PY(2%)-GN(1%)-CCP(0.5%). Veta con 300/55°.
1058	145	1.05	5.30	1.22	10.10	VN SULP (PY 30%, PO 25%, SP 20%, GN 5%, CCP 8%), segmentos < 7cm BX
1049	405	0.80	16.70	0.98	1.45	SLA MOD FR con relleno VLT QZ de 1cm + FEOX (GT, LIM) y VLT SULP de 5cm (SP 2%, APY 1%, CCP?)
1378	337	0.16	13.25	0.03	2.26	VN (290/56) cortando SLA gris oscuro, PY 15%- GN 10%- SP 5%- CCP 5%-PO 2%- APY 1%; FEOX (GT) MOD oquedades FR; AR VWK oquedades.

Fuente: Minsur S.A., 2015

a) Correlaciones multivariantes – Estructuras mineralizadas

El gráfico de correlación multivariable de estructuras mineralizadas nos indica que las correlaciones para el estaño son:

- Muy fuerte: Ninguna.
- Fuerte: Ag, Cu, In, Se.
- Moderado: As, Bi, Fe, Ge, Hg, Sb, Te, Zn.
- Débil: Cd, S, Ti, W.

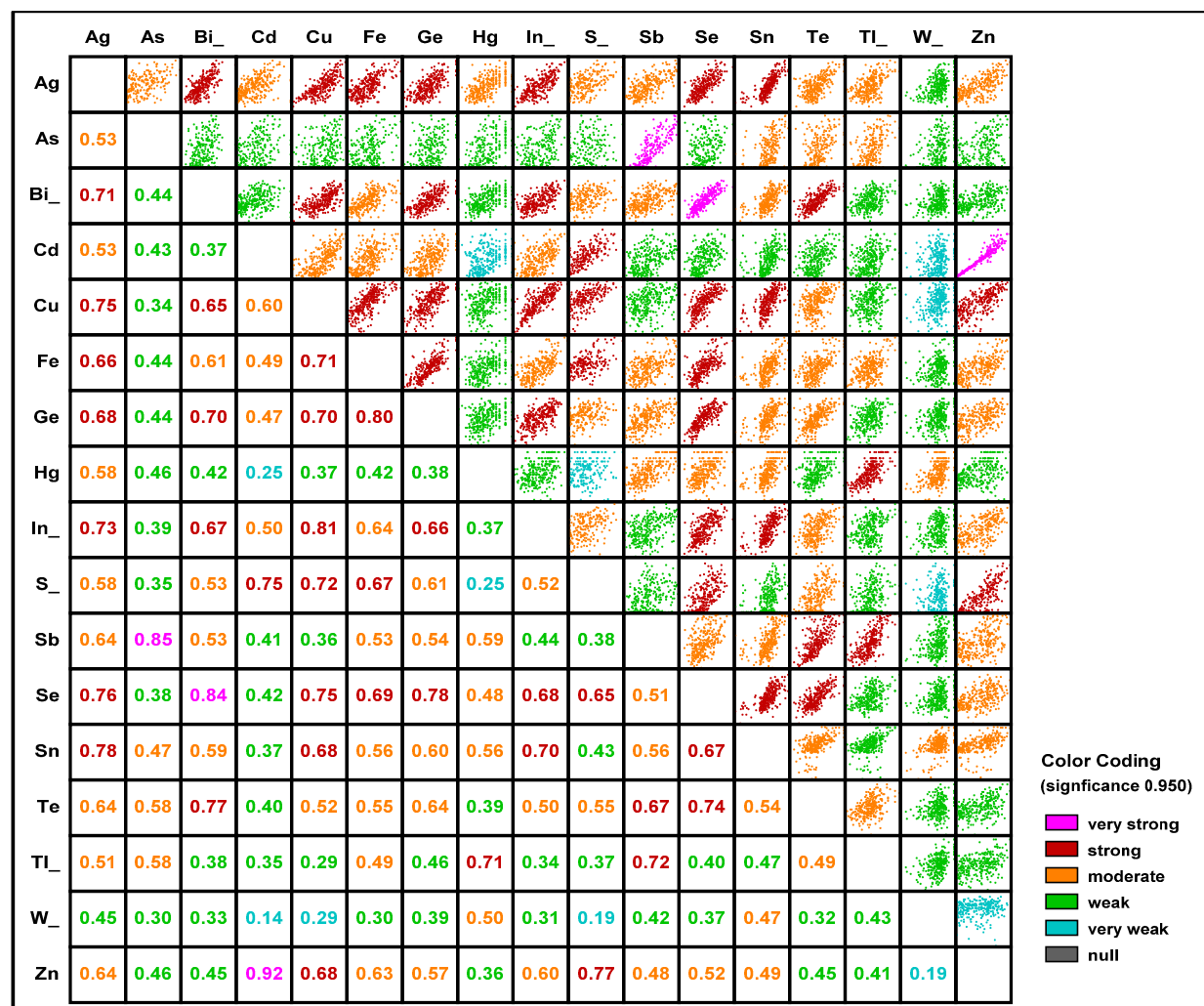


Figura 97: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas del sistema Rita

Fuente: Elaboración propia

b) Histogramas – Estructuras mineralizadas

Se consideró los elementos establecidos para la población total. Según los rangos geoquímicos de la población total se observan diferencias en el Bi y W.

El Sn y W presentan asimetría positiva, mientras que el Bi, Se y Ag presentan asimetría negativa.

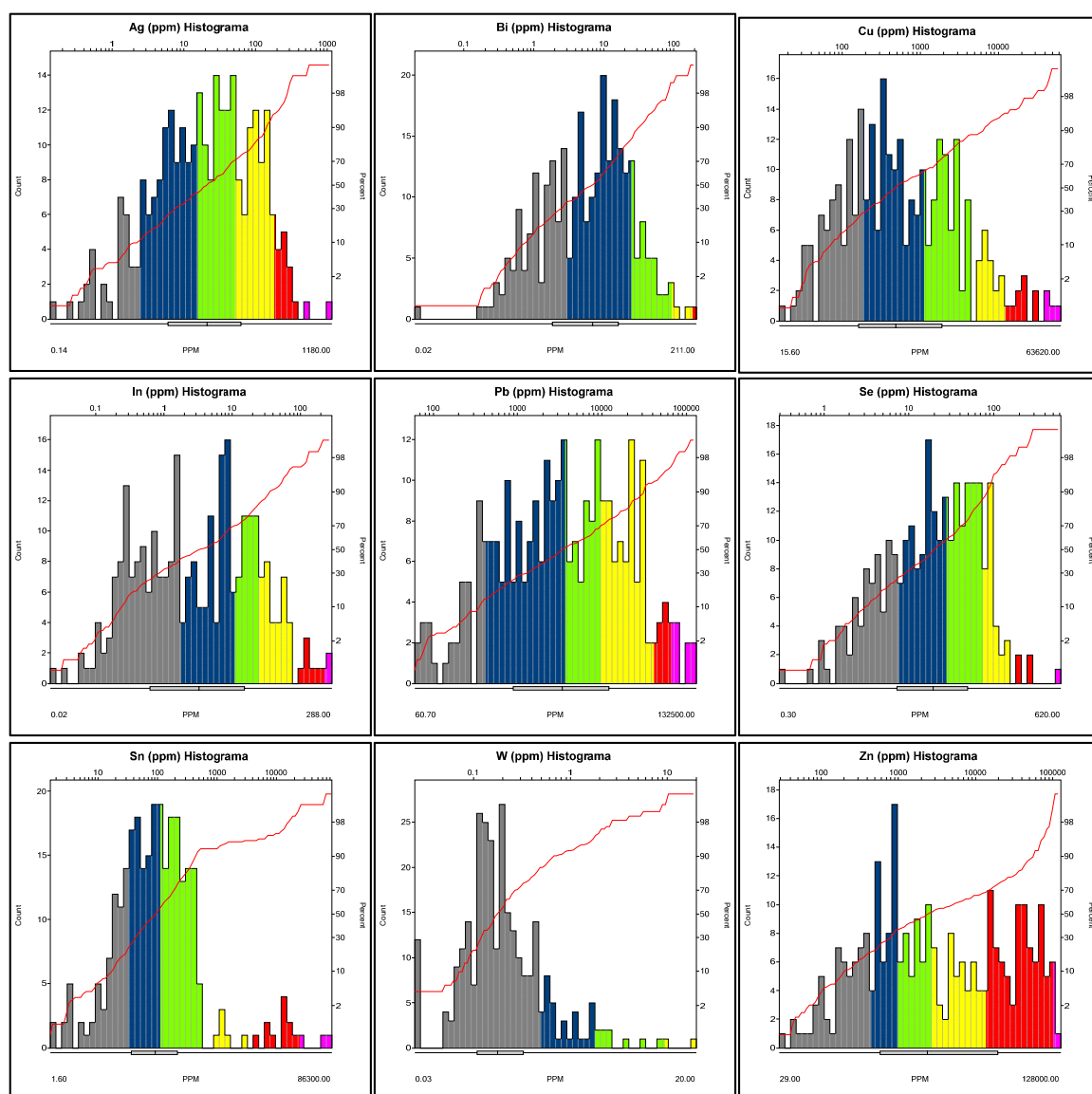


Figura 98: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Rita
Fuente: Elaboración propia

c) Box Plot – Litología

La mineralización en el sistema Rita presenta una mejor distribución en brechas y estructuras.

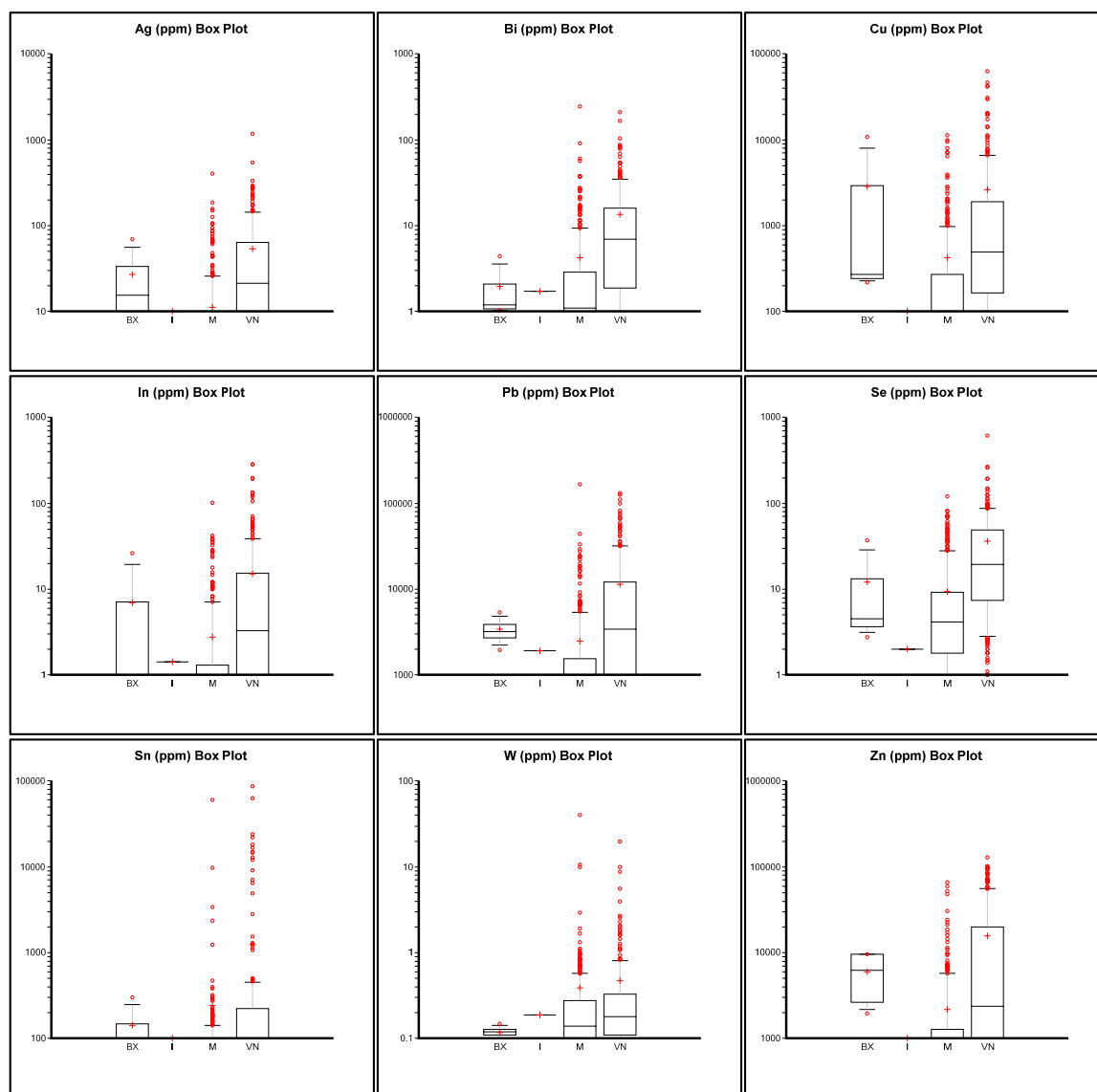


Figura 99: Box plot logarítmicos de estructuras mineralizadas del sistema Rita

Fuente: Elaboración propia

6.2. GEOQUÍMICA DE SONDAJES DIAMANTINOS

El análisis geoestadístico se realizó con las muestras geoquímicas (2727) de los sondeos diamantinos ubicados en el sistema Santo Domingo.

De los 51 elementos analizados por el laboratorio, se realizó un análisis para determinar qué elementos sobrepasaban la mitad del total de muestras con contenidos menores al límite de detección del laboratorio. Los elementos fueron el oro, boro y mercurio; estos elementos fueron excluidos del análisis geoestadístico.

a) Correlaciones multivariantes – Estructuras mineralizadas

El gráfico de correlación multivariable de estructuras mineralizadas (Figura 100) nos indica que las correlaciones para el estaño son:

- Muy fuerte: Ninguna.
- Fuerte: Ninguna.
- Moderado: *Be, *Ga, In, *Sc, Ti, Tl, W.
- Débil: Ag, Cd, *Cr, Cu, Fe, Ge, *Li, *Mn, Sb, Se, *Sr, Zn.

*Estos elementos presentan una correlación moderada a débil con estaño quizás a la poca variación en sus datos y la repetitividad de estos.

b) Análisis por Cotas – Población Total

El análisis por cotas se realizó para determinar la distribución y asociación de los elementos a determinadas cotas (Figura 101)

Se realizó un promedio ponderado cada 100m, en la cual se establece:

- Por debajo de la cota 4800m, los valores de Zn, Pb, Ag e In disminuyen considerablemente.
- Entre los 4900-4500, hay similar distribución entre el Cu y In, asociada a distribución de Sn a los 4900-4800m.
- Entre los 4500-4300m, el Sn y Bi presentan similar distribución.
- Se y W muestran distribuciones similares al Sn sobre los 4900-4800m y los 4500-4300m.



Figura 100: Correlación multivariable de estructuras mineralizadas de sondajes diamantinos del sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

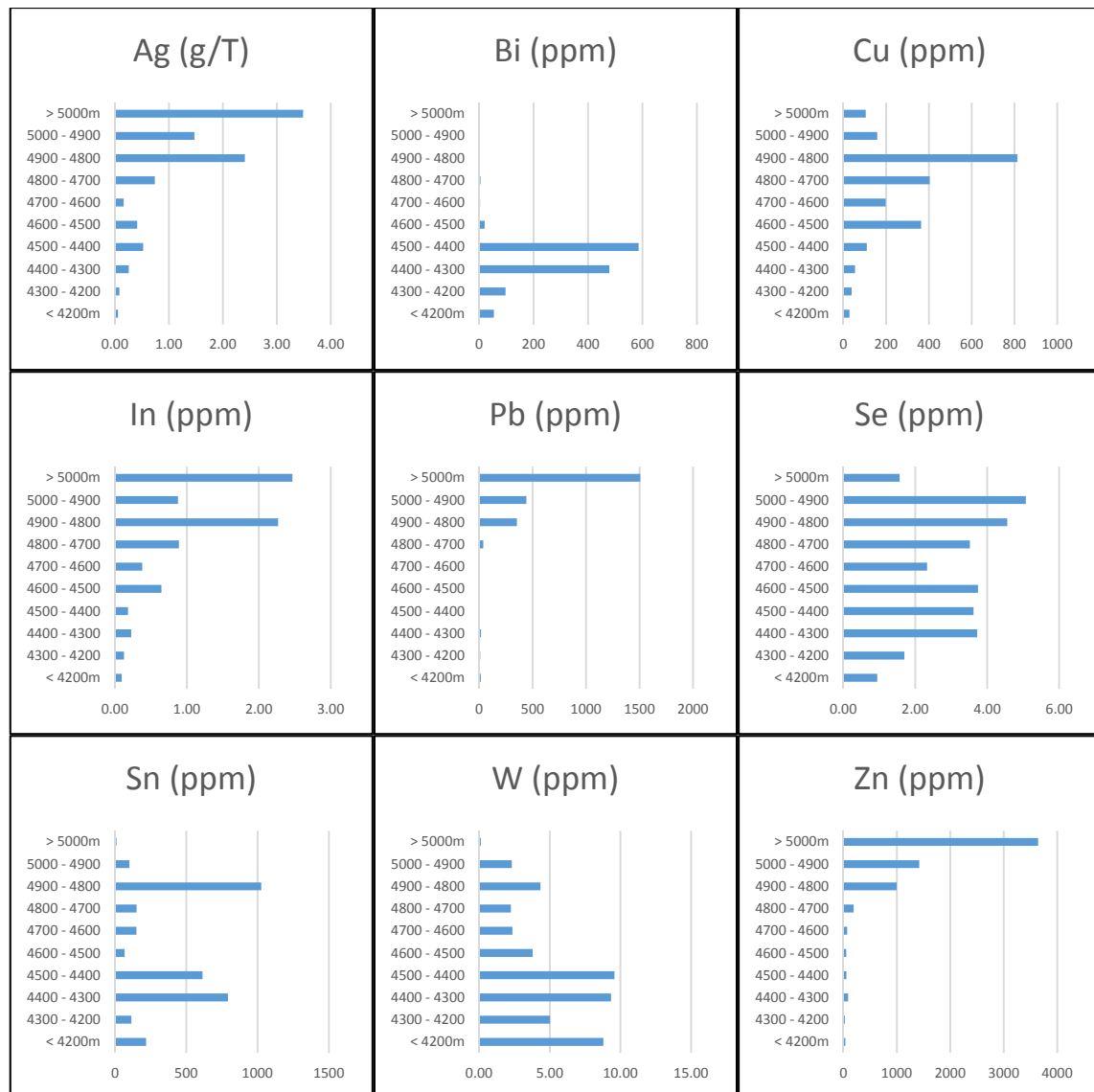


Figura 101: Gradientes verticales de sondajes diamantinos del sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

c) Histogramas – Estructuras mineralizadas

Se consideró los elementos establecidos para la población total.

Los elementos que presentan una disminución en sus valores respecto a los valores de superficie son: Ag, In, Se y Zn; los elementos que presentan un aumento en sus valores son: Bi, Sn y W.

El Pb, Zn, Ag, In, Sn y W presentan asimetría positiva, mientras que el Cu y Se presentan simetría.

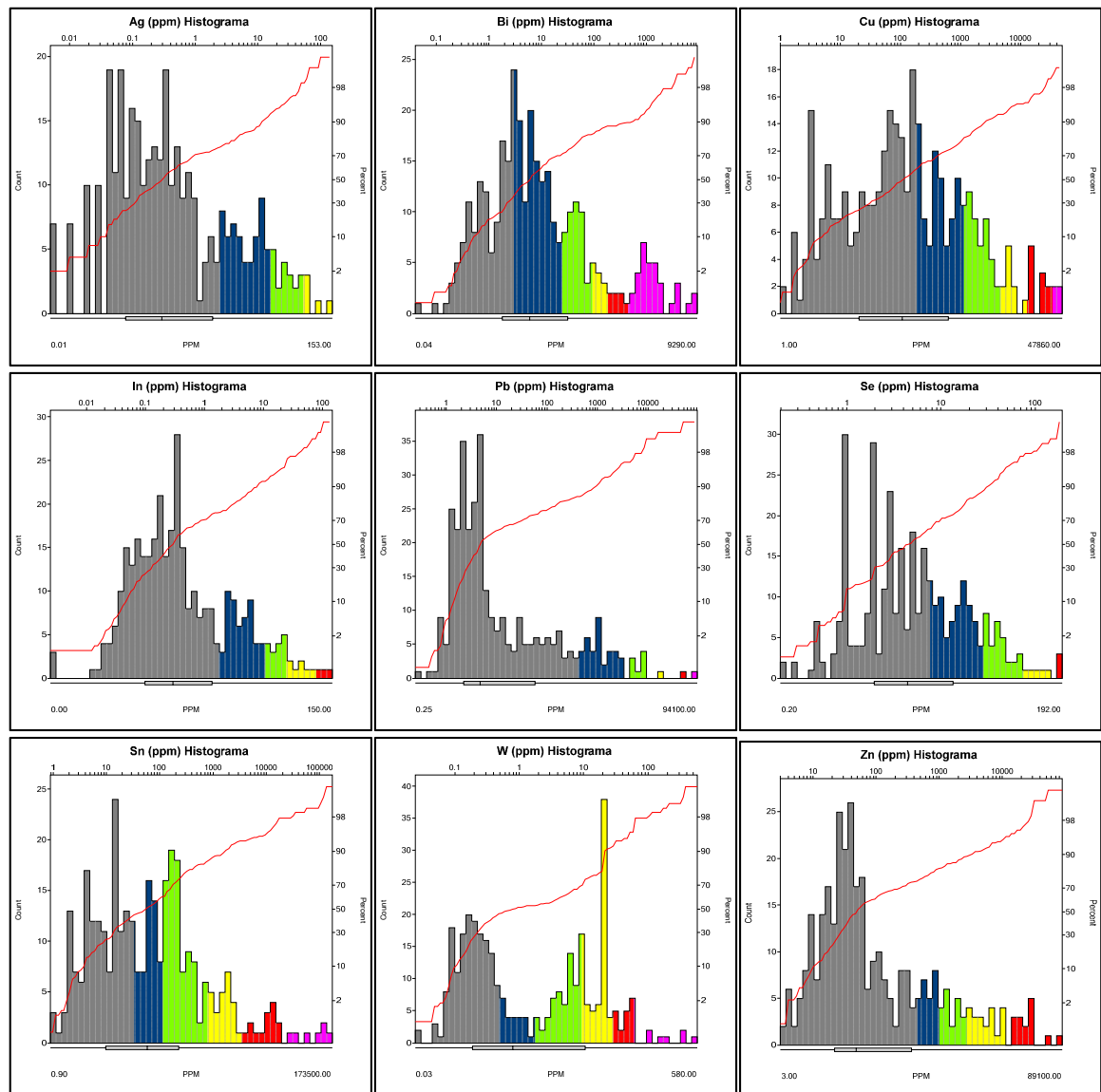


Figura 102: Histogramas logarítmicos de estructuras mineralizadas de sondajes diamantinos en el sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

d) Box Plot – Litología

La mineralización en los sondajes diamantinos del sistema Santo Domingo presenta una mejor distribución en estructuras que en brechas.

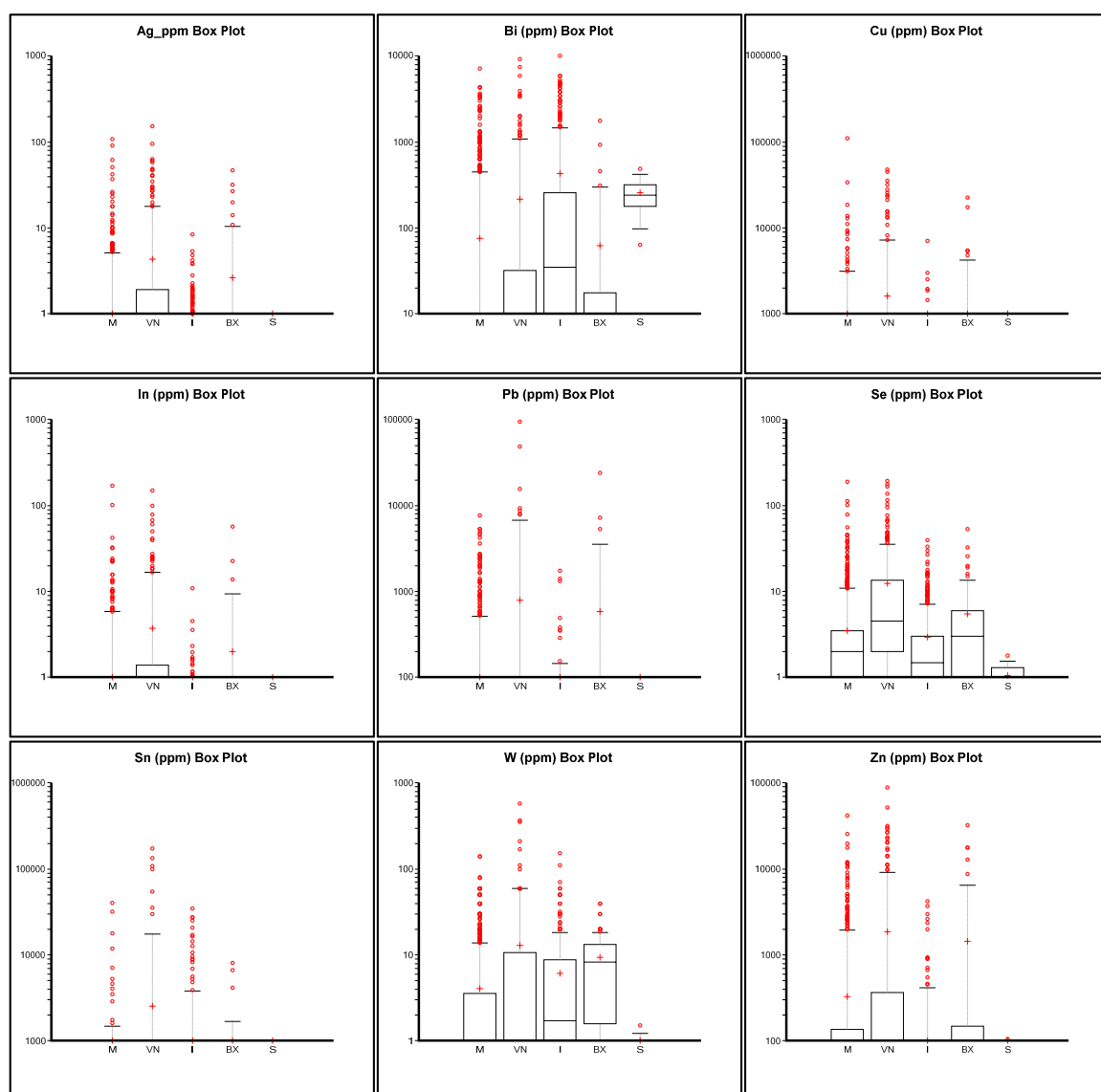


Figura 103: Box plot logarítmicos por litología de sondajes diamantinos en el sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

VII. TRABAJOS EXISTENTES

7.1. PROGRAMA DE PERFORACIÓN DIAMANTINA HISTÓRICA

En el proyecto Santo Domingo se realizaron dos campañas históricas de perforación diamantina, realizadas por Minsur S.A. e Inca Pacific S.A. (Figura 104).

En 1998, Minsur S.A. perforó 6 sondajes diamantinos (1703.00m) en los sistemas de vetas Ccasahuallata, Pucará y Santo Domingo. Los mejores valores se obtuvieron en el sistema de vetas Pucará: 0.15m @ 1.11%Sn, 1.48%Cu y 0.40m @ 0.23%Sn, 6.36%Cu.

En 2001, Inca Pacific S.A. perforó 5 sondajes diamantinos (3329.10m) en los sistemas de vetas Santo Domingo y San Basilio. Los mejores valores se obtuvieron en el sistema de vetas Santo Domingo: 2.00m @ 1.24%Sn y 0.20m @ 0.03%Sn, 1.41%Cu.

Cuadro 15: Sondajes diamantinos históricos

Empresa	Año	Sondaje	Cota	Distancia (m)	Total (m)	Sistema de vetas	Ubicación
MINSUR S.A.	1998	DDH 01	4655	209.00	1703.00	Ccasahuallata	Subterráneo
		DDH 02	4655	284.25		Ccasahuallata	Subterráneo
		DDH 03	4655	291.65		Ccasahuallata	Subterráneo
		DDH 04	4692	335.50		Pucará	Subterráneo
		DDH 05	4692	330.60		Pucará	Subterráneo
		DDH 06	4812	252.00		Santo Domingo	Superficie
INCA PACIFIC S.A.	2001	SD01-01	4896	311.40	3329.10	Santo Domingo	Superficie
		SD01-02	4943	673.70		Santo Domingo	Superficie
		SD01-03	4912	734.50		Santo Domingo	Superficie
		SD01-04	4868	651.80		San Basilio	Superficie
		SD01-04A	4868	957.70		San Basilio	Superficie

Fuente: Minsur S.A., 2015

7.2. LABORES SUBTERRÁNEAS

Minsur S.A. durante los años 1983-1985 y 1995-1998 desarrollo galerías y cortadas en los sistemas de vetas, excepto en el sistema Rita debido a que no había estudios

geológicos en este sistema (Figura 104). En total se desarrollaron aproximadamente 5221.2m de galerías y 1038.4m de cortadas (Cuadro 16).

Durante la campaña de campo en el 2014, se realizó el cartografiado geológico a escala 1:500 y muestreo geoquímico de vetas en las labores accesibles.

Cuadro 16: Resumen de las labores subterráneas

Sistema	Labores	Galerías (m)	Cortadas (m)
Ccasahuallata	1	482.7	224.6
Pucará	4	969.2	391.1
Santo Domingo	7	2111.6	133.3
San Basilio	5	1657.7	289.4
TOTAL	17	5221.2	1038.4

Fuente: Minsur S.A., 2015

7.3. PROGRAMA DE PERFORACIÓN DIAMANTINA 2014 – 2015

De acuerdo a la interpretación de la información obtenida en campo se ejecutó, durante los años 2014 y 2015, el programa exploratorio con perforación diamantina.

El programa exploratorio finalizó con 17,988.90m en 30 sondeos (Figura 105).

Cuadro 17: Resumen del programa exploratorio 2014-2015.

Sistema	Sondeos	Metraje (m)	Ubicación
Ccasahuallata	3	2349.90	Superficie
Pucara	8	3708.50	Superficie
Santo Domingo	14	9616.90	Superficie
San Basilio	4	1712.80	Superficie
Rita	1	600.80	Superficie
TOTAL	30	17988.90	

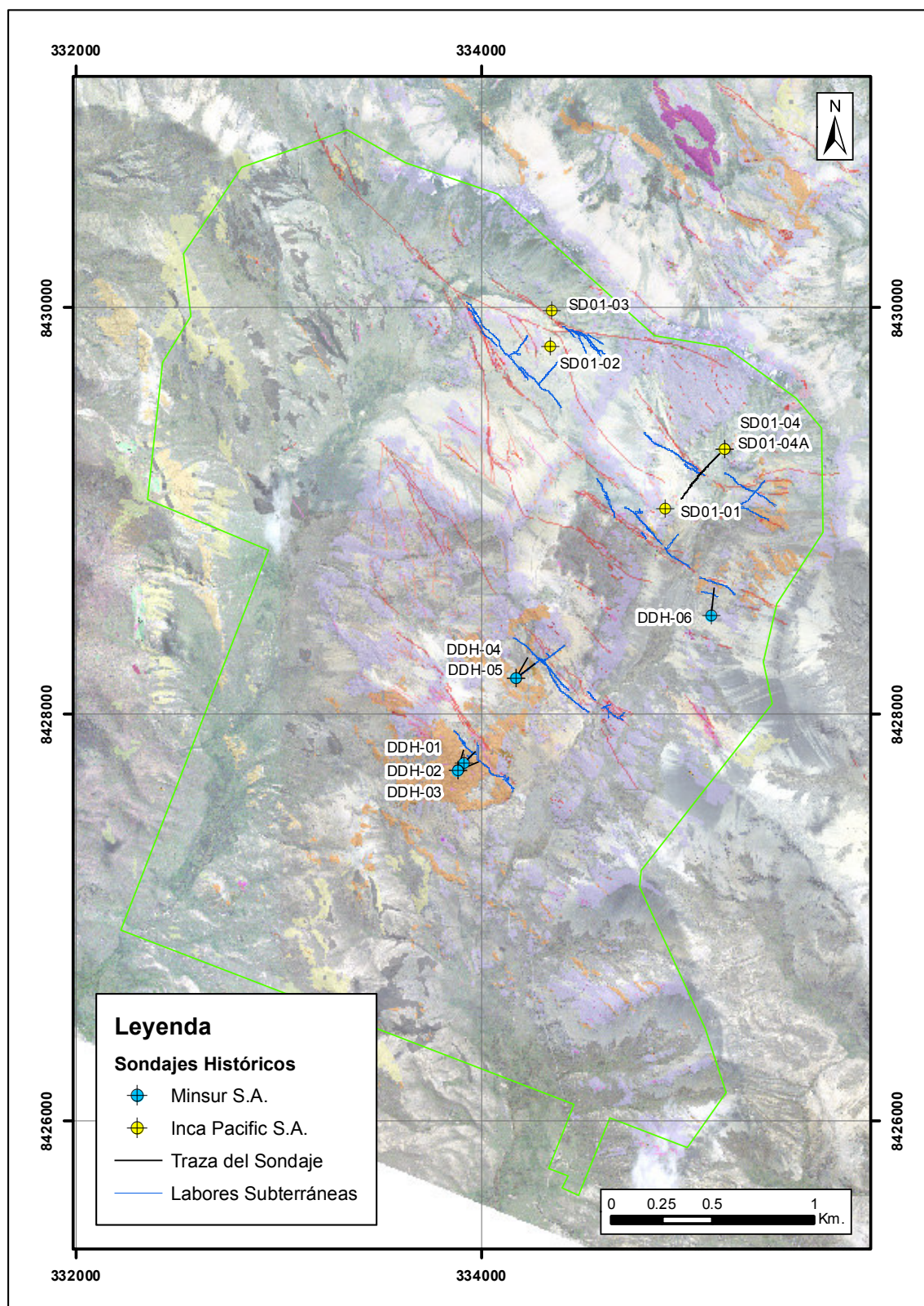


Figura 104: Ubicación de sondajes diamantinos históricos y labores subterráneas
Fuente: Minsur S.A., 2015

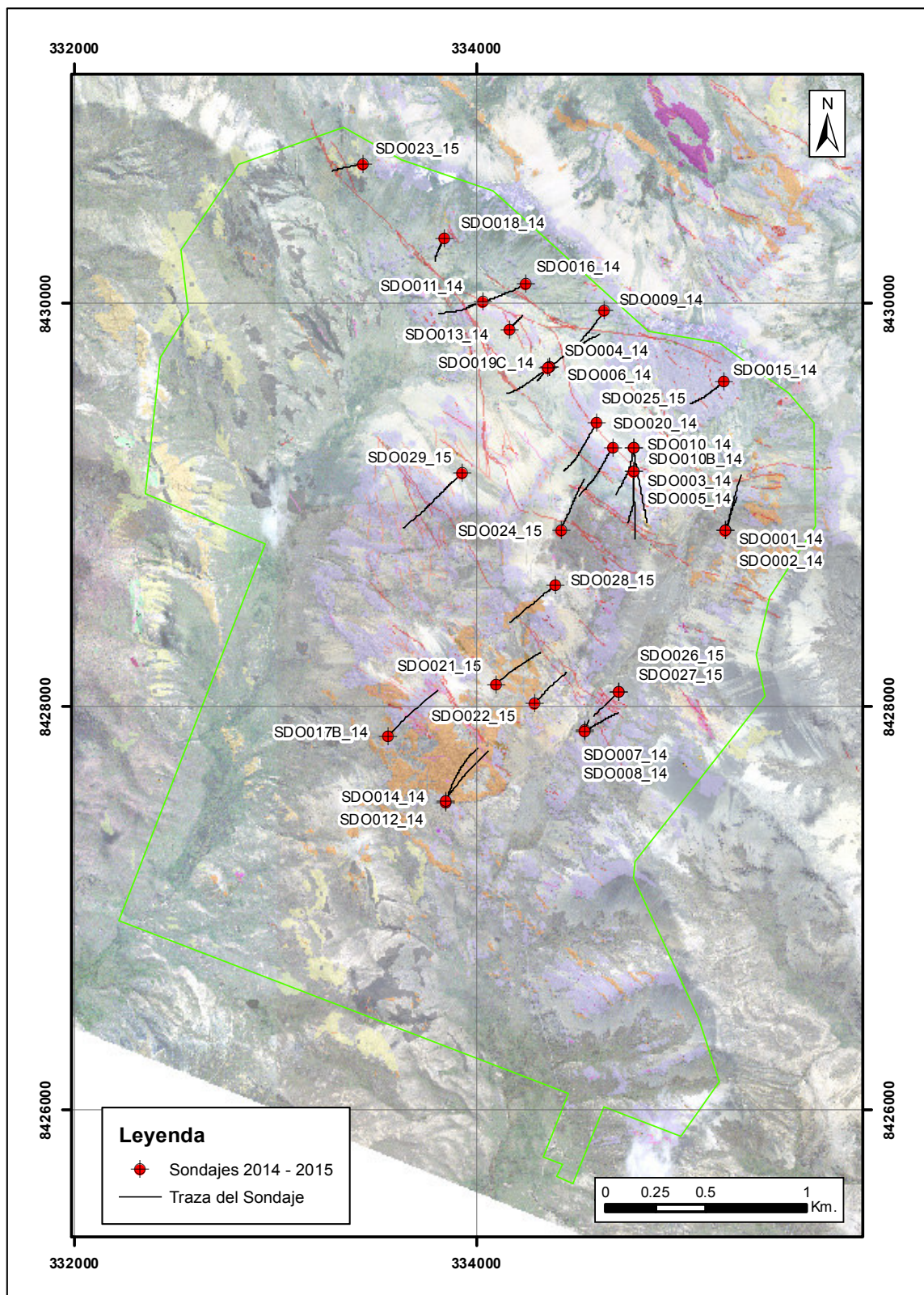


Figura 105: Ubicación de sondajes diamantinos 2014-2015

Fuente: Minsur S.A., 2015

VIII. CONTROLES DE MINERALIZACIÓN EN EL SISTEMA SANTO DOMINGO

De acuerdo a la interpretación de datos geológicos obtenidos en campo y gabinete se establece que la mineralización estannífera en el sistema Santo Domingo está controlada por la litología, la alteración, el tipo e intensidad de venillas y el marco estructural. En aquellos sectores donde existe la interacción de estos controles de mineralización se generarían zonas favorables para la mineralización estannífera.

A continuación se describen los principales controles de mineralización estannífera en el sistema Santo Domingo:

8.1. CONTROL LITOLÓGICO – ALTERACIÓN

En el sistema Santo Domingo las rocas que afloran son pizarra, diques y sills de monzogranito y cuarzomonzonita. Mediante la perforación diamantina se reconoció hornfels, un stock monzogranítico y diques de mineta.

Se estableció que la pizarra es una mala roca caja, debido a que la mineralización es irregular en extensión longitudinal y en contenido mineral, mientras que los cuerpos ígneos en profundidad son mejores rocas cajas. La presencia de hornfels es una guía para determinar la cercanía de un cuerpo ígneo.

La fuerte intensidad de la alteración clorítica o turmalínica de la roca caja representa la cercanía de alguna estructura mineralizada o sistema de venillas.

La cloritización pervasiva de un cuerpo ígneo asociado a un corredor de estructuras es la mejor guía para la posible ubicación de mineralización estannífera.

En la Figura 106, se muestra el contacto entre el hornfels y el stock monzogranítico a los 4400m en el sondaje SDO020_14.



Figura 106: Contacto entre hornfels y monzogranito cloritizado

Fuente: Minsur S.A., 2015

8.2. CONTROL MINERALÓGICO

La mineralización estannífera está asociada a venillas, vetas o brechas con abundante presencia de clorita y cuarzo hialino.

El incremento de esfalerita, galena y valores de plata en profundidad significa la nula o escasa mineralización estannífera a mayor profundidad y la proximidad de una mineralización polimetálica.

En el sistema Santo Domingo los metales base (Ag, Pb, Zn) se encuentran por encima de la cota 4800 (Figura 101).

En la Figura 107a, presencia de brecha hidrotermal a los 4834m en contacto con dique de monzonita, la brecha tiene matriz de cuarzo hialino-calcita-clorita-casiterita-sulfuros (CCP-PY-PO+-SP-GN). En la Figura 107b, presencia de brecha

hidrotermal a los 4441m en hornfels, la brecha tiene matriz de cuarzo hialino-calcita-clorita-casiterita cristalizada-pirita y trazas de arsenopirita.

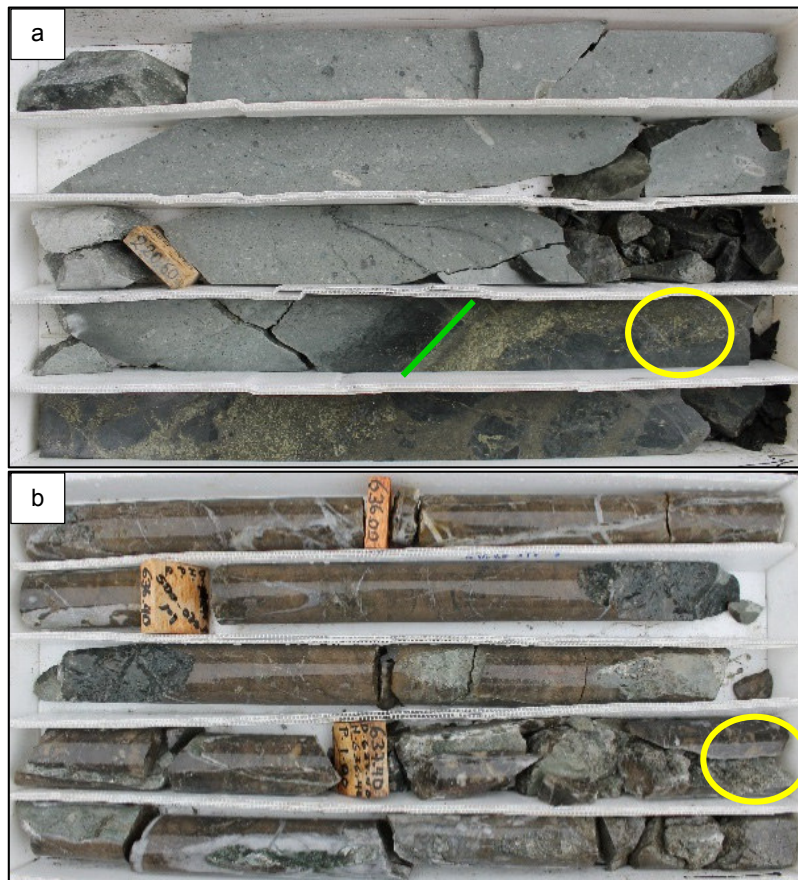


Figura 107: Brechas mineralizadas a distintas cotas en el sistema Santo Domingo
Fuente: Minsur S.A., 2015

8.3. CONTROL ESTRUCTURAL

Las estructuras mineralizadas en el sistema Santo Domingo están relacionadas a un fallamiento normal con desplazamiento sinistral, los espacios abiertos generados a lo largo de los planos de falla normal (cambio de azimuth) y de rumbo sinistral (buzamientos menores a 65°) están representados en la Figura 108.

Para el análisis estructural, el sistema Santo Domingo fue dividido en tres sectores (Figura 109): Oeste, Brecha y Este; los datos estructurales se clasificaron por tipo de estructura: vetas, fallas y foliación.

El total de datos estructurales son: 343 veta, 59 falla, 242 foliación.

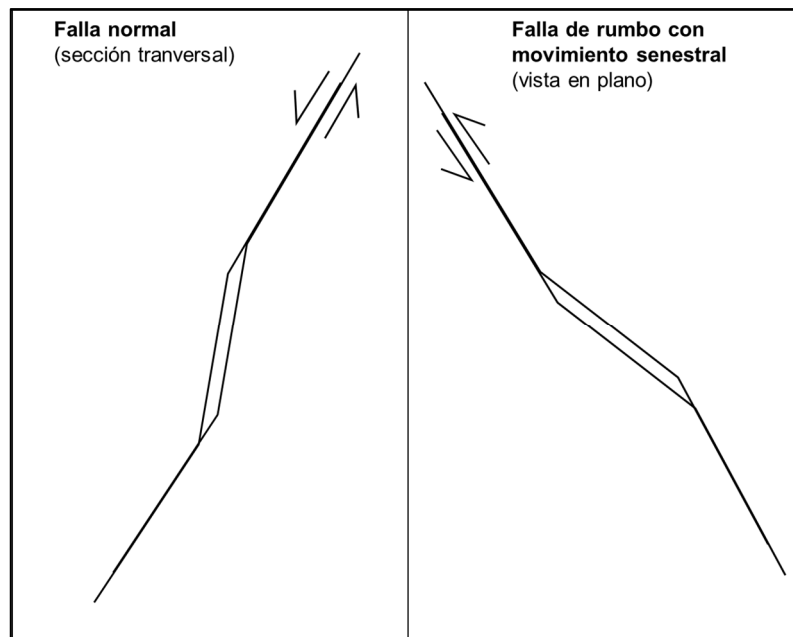


Figura 108: Mecanismo de formación de espacios abiertos a lo largo de un plano de falla normal y de rumbo sinistral

Fuente: Vallance, 2014c

En la Figura 109, se muestran las rosetas del total de datos estructurales por vetas (roseta roja), fallas (roseta azul) y foliación (roseta negra). De acuerdo a las rosetas por sectores, se define que:

- Del total de datos estructurales, se establece que la dirección preferencial de las vetas y fallas en el sistema Santo Domingo es NW-SE. La foliación presenta dos direcciones preferenciales, una paralela a las vetas y fallas NW-SE y una dirección perpendicular a las vetas NE-SW.
- En el sector Brecha y en menor proporción el sector Oeste, las dos direcciones preferenciales de las fallas son importantes generadoras de permeabilidad.
- Las vetas (Figura 110) presentan una dirección preferencial NW-SE en los tres sectores. La mayor cantidad de datos de vetas está en el sector Brecha, en donde existe una familia de vetas con dirección E-W.

- Las fallas (Figura 111) presentan direcciones preferenciales distintas en los tres sectores. En el sector Oeste las fallas presentan una dirección preferencial casi N-S y una dirección secundaria E-W. En el sector Brecha las fallas presentan dos direcciones preferenciales NW-SE y E-W. En el sector Este las fallas presentan una sola dirección preferencial NW-SE que es igual a la dirección preferencial de las estructuras mineralizadas.
- La foliación (Figura 112) presenta dirección preferencial distinta en los tres sectores. En el sector Oeste la foliación tiene una dirección preferencial NE-SW, perpendicular a la dirección preferencial de estructuras mineralizadas y fallas. En el sector Brecha la foliación tiene una dirección preferencial NW-SE. En el sector Este tiene una dirección preferencial NE-SW y una dirección secundaria NW-SE.

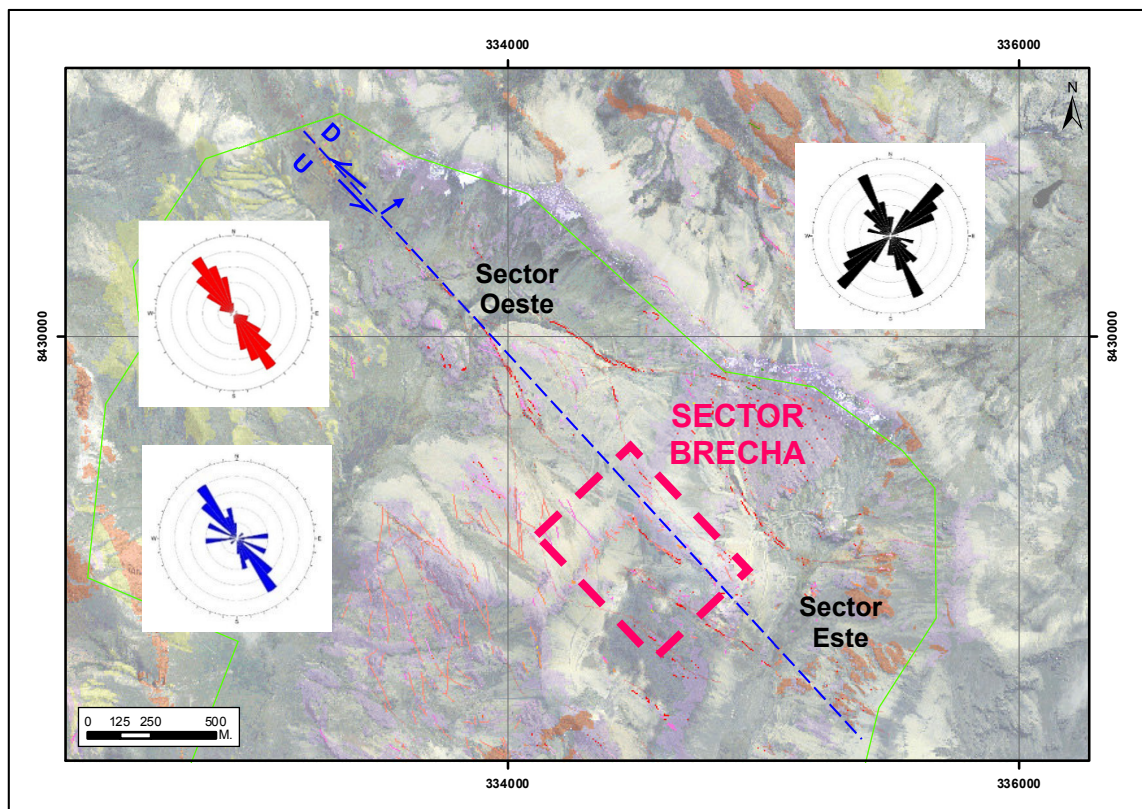


Figura 109: Rosetas de vetas, fallas y foliación en el sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

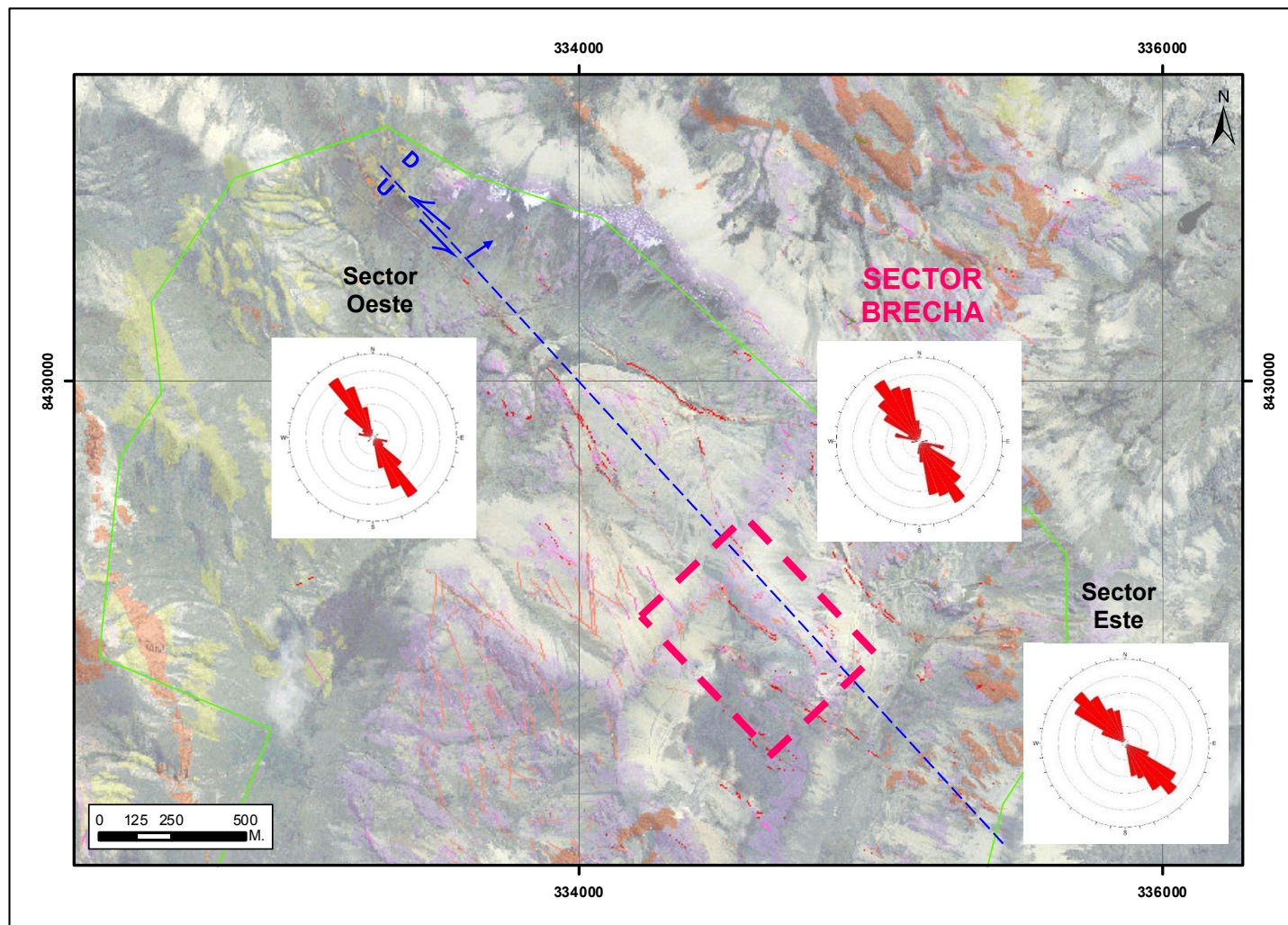


Figura 110: Rosetas de vetas por sectores en el sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

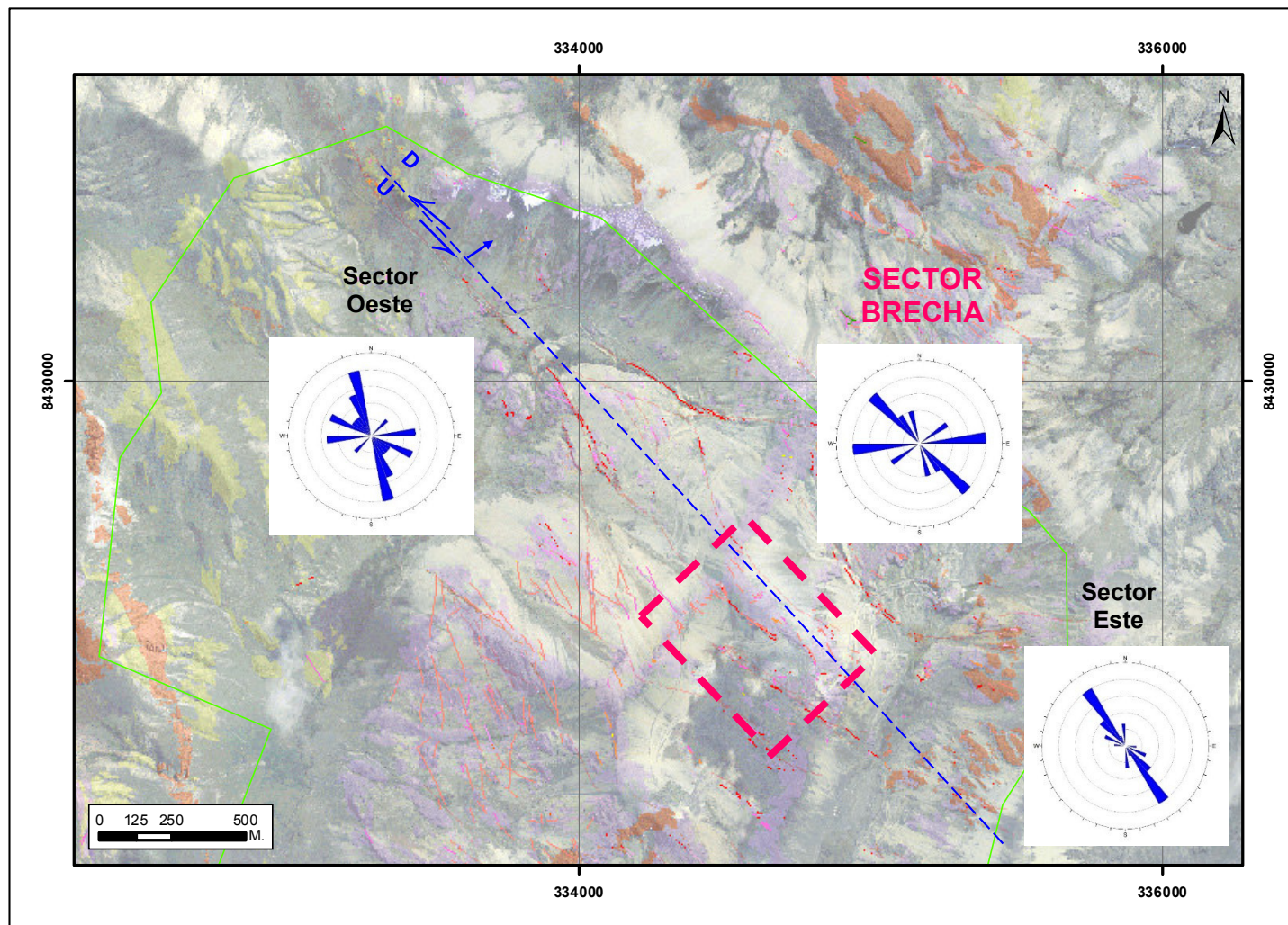


Figura 111: Rosetas de fallas por sectores en el sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

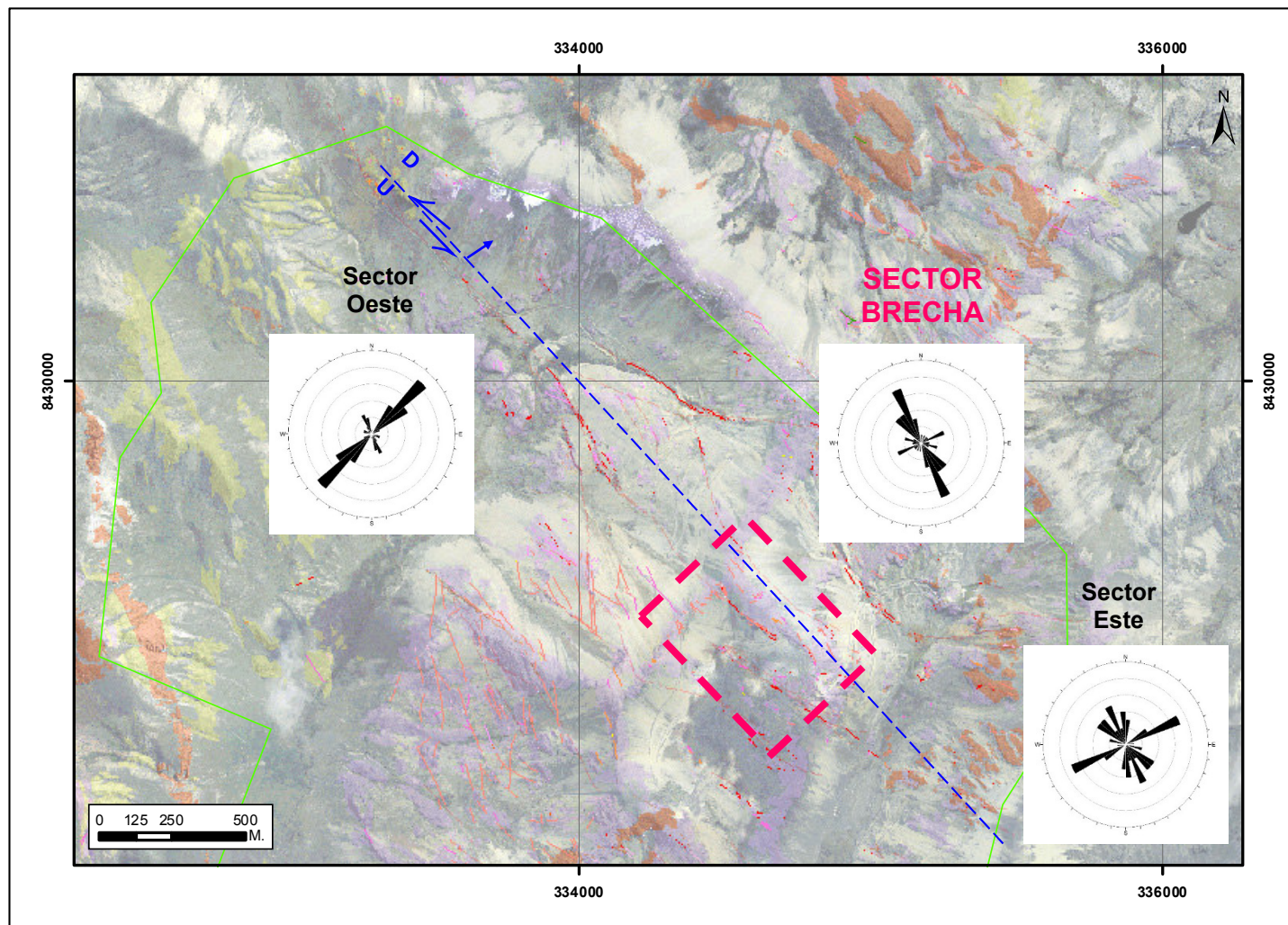


Figura 112: Rosetas de foliación por sectores en el sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

IX. MODELO GEOLÓGICO

9.1. SECCIONES TRANSVERSALES

Para la generación de un modelo geológico inicial del proyecto Santo Domingo se realizaron 15 secciones transversales a escala 1:5000, con orientación SW-NE y espaciamiento de 100m.

La información disponible al realizar la interpretación de las secciones fue: cartografiado geológico escala 1:2000, muestreo geoquímico superficial y subterráneo de rocas, información de los sondeos diamantinos históricos, información de las labores subterráneas.

Las secciones geológicas fueron procesadas en el software Minesight 3D, en el cual se generó un modelo geológico 3D inicial del proyecto Santo Domingo (Figura 113).

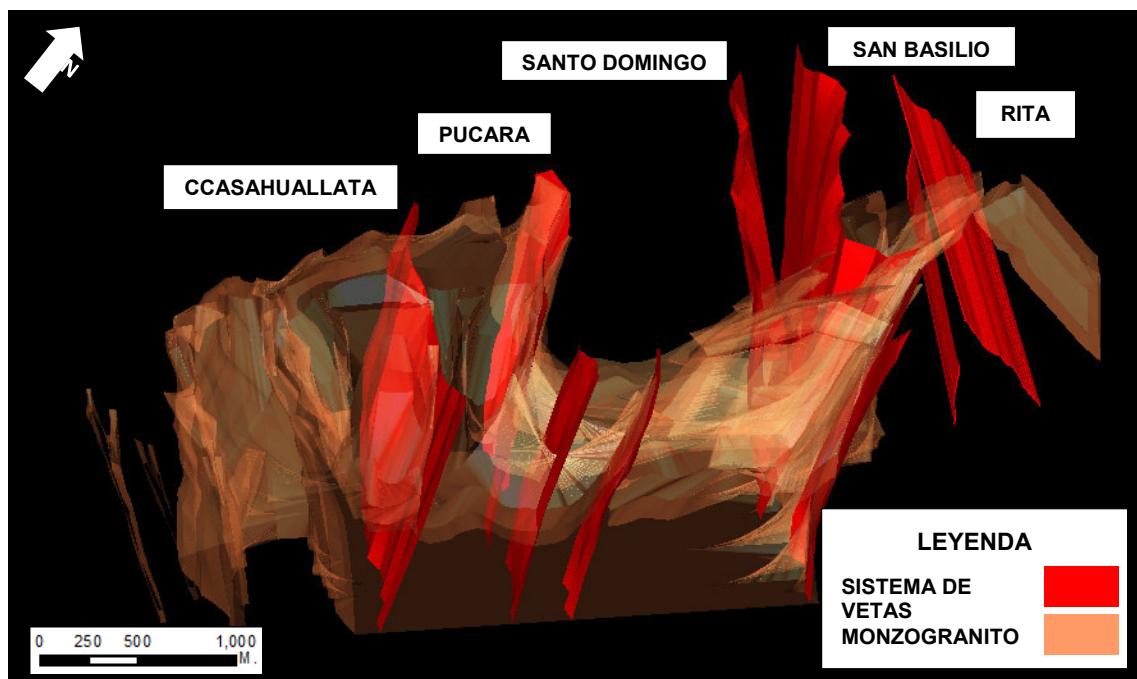


Figura 113: Modelo geológico 3D inicial del proyecto Santo Domingo

Fuente: Minsur S.A., 2015

9.2. INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA

El levantamiento geofísico del proyecto Santo Domingo por el método de Magnetometría consistió en 38 perfiles SW-NE con una longitud acumulada de 88,450m.

Las anomalías magnetométricas están representadas por los colores verde, amarillo, rojo y rosado (<0.003 SI). En el proyecto Santo Domingo las anomalías magnetométricas cercanas a superficie y ubicadas por debajo de rocas distintas a rocas intrusivas solo indican una fuerte oxidación presente en fracturas.

Con el procesamiento tridimensional (3D) de los datos del levantamiento magnetométrico se realizaron planos de planta cada 100m para la interpretación de los posibles cuerpos intrusivos. A partir de la cota 4300 se logra diferenciar, en el sector SE del proyecto, que las anomalías magnetométricas son consistentes y tienen una orientación NE-SW (Figura 114).

9.3. MODELO GEOLÓGICO DEL SISTEMA SANTO DOMINGO

En base a las observaciones de campo y trabajos de gabinete se realizó un modelo geológico del sistema Santo Domingo.

En la generación del perfil geológico se consideró el control estructural para graficar el ensanchamiento de la estructura por cambio de buzamiento, la litología favorable para la mineralización estannífera y los zonamientos mineralógicos laterales y verticales (Figura 115).

En la sección longitudinal del sistema Santo Domingo se realizó el cociente metálico Sn/Cu (Figura 116). Se determinó que en la relación 10 – 100 el estaño presentaría un incremento hacia profundidad, mientras que en la relación 1- 10 el estaño aumentaría ligeramente hacia superficie. En el sector Brecha se establecieron dos posibilidades para la unión de los cocientes, esto debido a la presencia de múltiples eventos de brechamiento y fallamiento que distorsionan la mineralización.

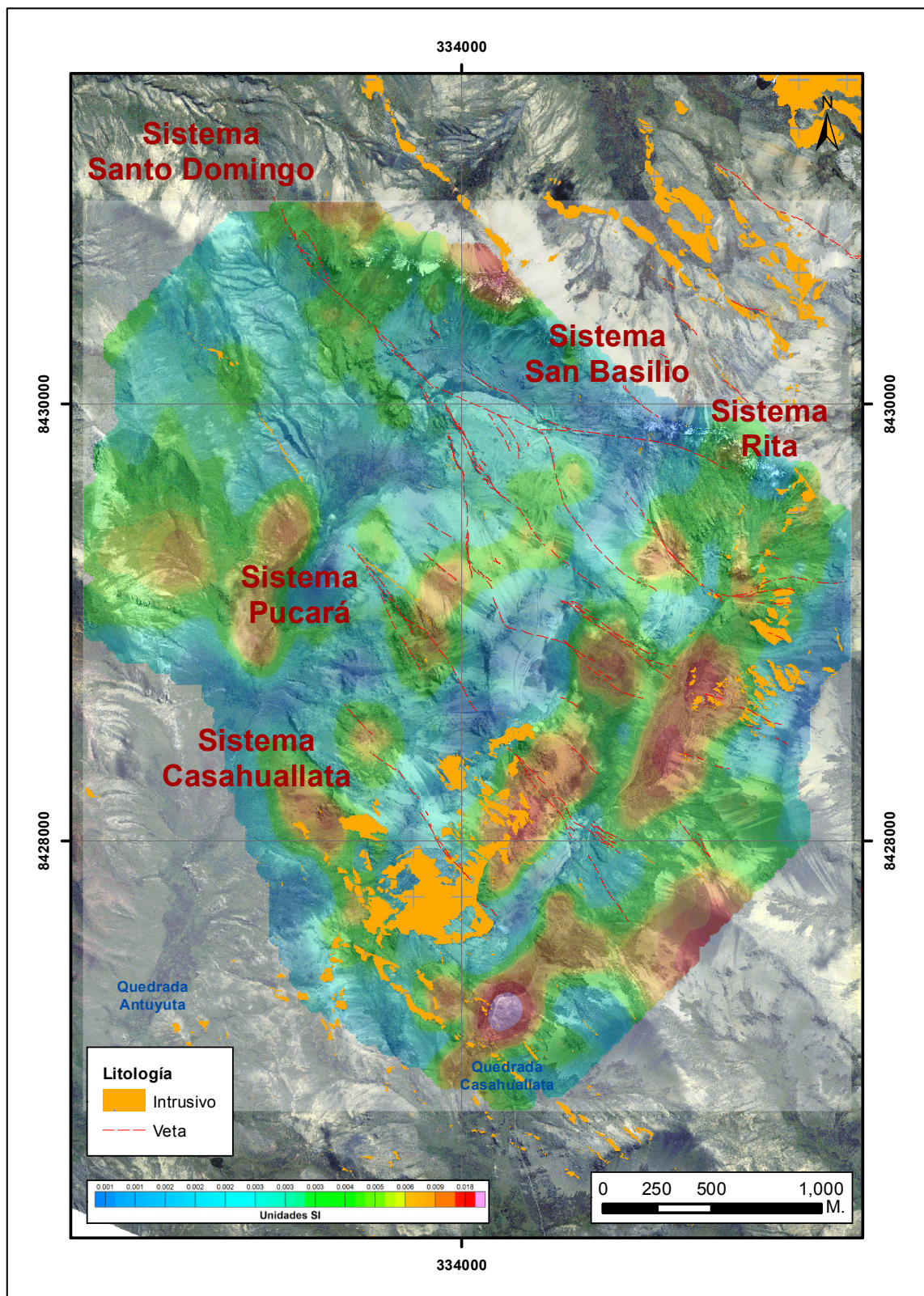


Figura 114: Amplitud de magnetización a cota 4300

Fuente: Minsur S.A., 2015

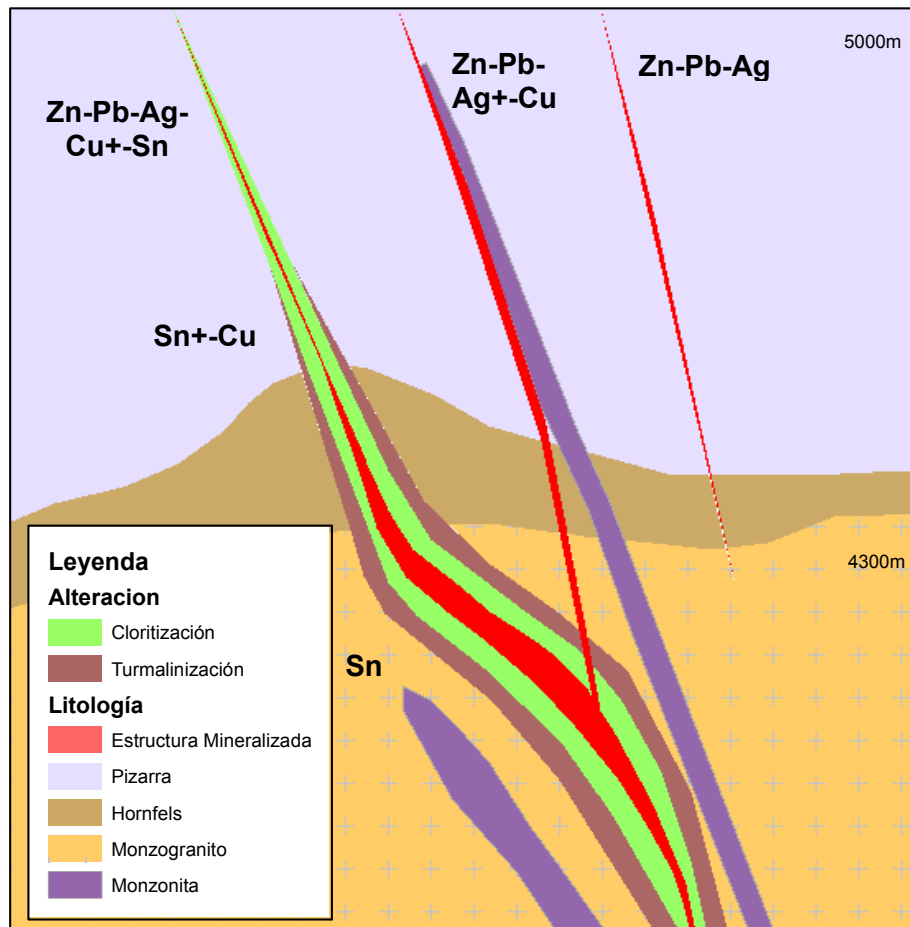


Figura 115: Perfil geológico idealizado del sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

Las flechas moradas indican el posible incremento de valores de estaño en profundidad.

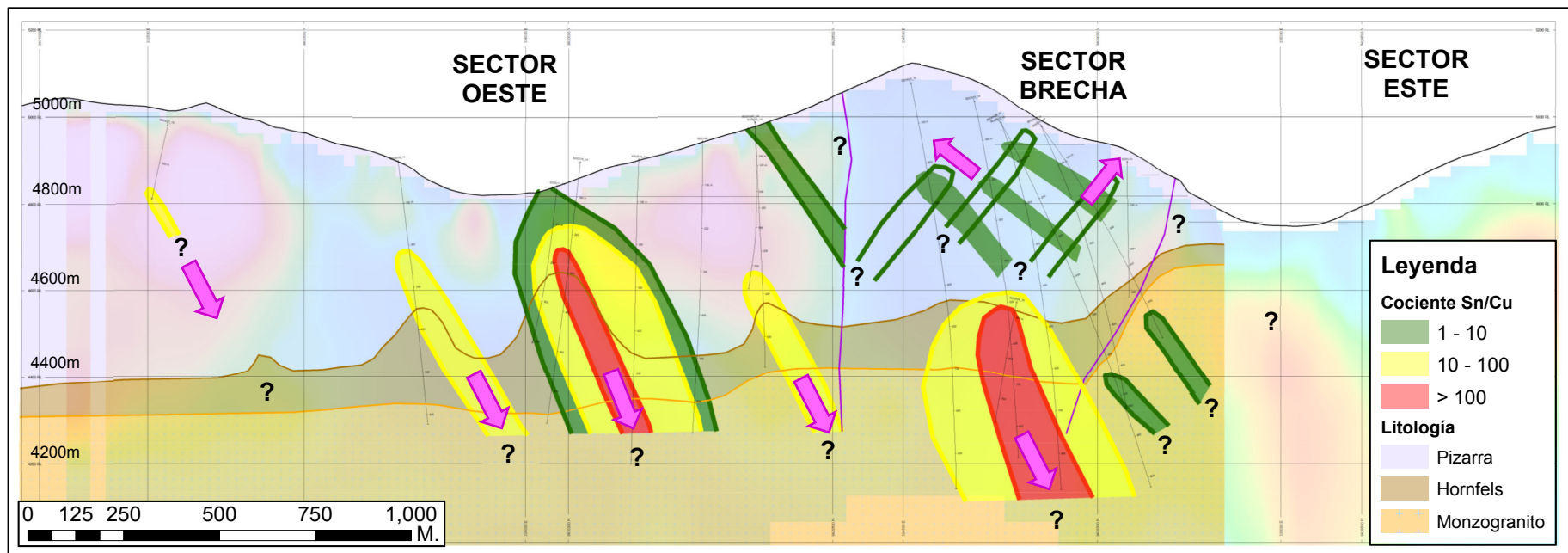


Figura 116: Sección longitudinal esquemática del sistema Santo Domingo

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El sistema Santo Domingo se extiende longitudinalmente por 3.2km con un ancho de hasta 500m, verticalmente ha sido reconocido hasta en 900m.

Los zonamientos mineralógicos se establecen lateral como verticalmente, lateralmente la zonación es de metales base (Zn-Pb-Ag) mientras que verticalmente la zonación es de aumento en la mineralización de casiterita y disminución de la mineralización de calcopirita.

La mineralización de casiterita se presenta en las estructuras principales (N315/65°) como en las estructuras tensionales. La mineralización se presenta en vetas y venillas que presentan texturas del tipo relleno de fractura, masivo y matriz de brecha.

El sector Brecha en el sistema Santo Domingo presenta las mejores condiciones litológicas, estructurales y mineralógicas para albergar la mineralización de casiterita, teniendo como característica principal la matriz de brechas, los contenidos metálicos corresponden a Sn+-As+-Cu.

De acuerdo a la perforación diamantina, se establece que el cociente Sn/Cu en el rango 10 – 100 es el mejor “target” de perforación diamantina debido a que la mineralización de casiterita aumentaría en profundidad.

La guía de exploración en el sistema Santo Domingo es esencialmente por:

- Alteración: la fuerte alteración clorítica está íntimamente relacionada a la mineralización estannífera.
- Mineralogía: si en profundidad no existe un zonamiento vertical de la estructura mineralizada y prosigue la mineralización de metales base (Zn-Pb-Ag) es casi nula presencia de mineralización estannífera a mayor profundidad.

- Estructural: el cambio de buzamiento de las estructuras genera zonas favorables para la depositación de mineral, la interacción de dos familias de fallas generan una mayor permeabilidad en la roca caja.

Los trabajos de perforación diamantina, nos sugiere que en el sistema Santo Domingo se presentan por lo menos dos ramales principales: ramal techo y ramal piso, los cuales fueron identificados a las cotas: 4900-4800m y 4400-4300m.

La mineralización en el proyecto Santo Domingo es del tipo mesotermal, el cual ha sido identificado hasta en 900m mediante perforación diamantina.

El proyecto Santo Domingo presenta características favorables para la mineralización estannífera.

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio microtectónico en el sector Brecha del sistema Santo Domingo para determinar los eventos de brechamiento y fallamiento.

Explorar el sistema Santo Domingo por debajo de la cota 4400m, zona favorable para la formación de cuerpos de brecha y vetas con mineralización estannífera.

Realizar estudios superficiales de detalle en las zonas proyectadas con intercepto de mineralización estannífera en los sondajes diamantinos para determinar relaciones entre las características geológicas superficiales y subterráneas.

Realizar cartografiado superficial a escala 1/500 en áreas con mineralización estannífera y con fuerte a moderada alteración clorítica asociada a lineamientos de estructuras.

El proyecto Santo Domingo presenta 5 sistemas de vetas las cuales deben ser estudiadas por separado debido a que cada sistema de vetas presenta características geológicas y controles de mineralización propias.

Generar modelos geológicos por cada uno de los sistemas de vetas e integrarlos para determinar los eventos de mineralización, movimientos de bloques y emplazamientos de cuerpos ígneos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alayza D., 2015. Reporte Mapeo Geológico. Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 2 de noviembre del 2015. No disponible. Minsur S.A.
2. Arribas A. y Figueroa E., 1985. Las mineralizaciones de Uranio en las rocas volcánicas de Macusani, Puno (Perú). Estudios geológicos. 41, p. 323 – 341.
3. Carlier G., Lorand J., Liegeois J., Fornari M., 2005. Potassic-ultrapotassic mafic rocks delineate two-lithospheric mantle blocks beneath the southern Peruvian Altiplano. *Geology*, 2005, 33 (7), p. 601-604.
4. Carlotto V., Quispe J., Acosta H., Rodriguez R., Romero D., Cerpa L., Mamani M., Diaz-Martinez E., Navarro P., Jaimes P., Velarde T., Lu S. y Cueva E., 2009. Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú. *Bol. Soc. Geol. Perú*. 89 p.
5. Carlotto V., Acosta H., Mamani M., Cerpa L., Rodriguez R., Jaimes F., Navarro P., Cueva E. y Chacaltana C., 2010. Los dominios geotectónicos del territorio peruano. XV Congreso Peruano de Geología. Sociedad Geológica del Perú, Pub. Esp. Exp. N° 9. P. 47-50.
6. Clark A., Palma V., Archibald D. y Farrar E., 1983. Occurrence and age of Tin mineralization in the Cordillera Oriental, Southern Perú. *Economic Geology*. Vol 78, 1983, p. 514 – 520.
7. Clark A., Kontak D., Farrar E., Arenas M. y Robertson R., 1984. A comparative study of the metallogenetic and geochronological relationships in the northern part of the central Andean tin belt, SE Peru and NW Bolivia, in Janelidze, T. V., and Tvalchralidze, A. G., eds., *Proceedings of the sixth quadrennial IAGOD symposium held in Tbilisi, USSR, September 6-12, 1982: Stuttgart, E. Schweizerbart'sche*, p. 267-279.
8. Clark A., Edward Farliar, Daniel J. Kontak, Robert J. y Langridg, 1990. *Geologic and Geochronologic Constraints on the Metallogenic Evolution of the Andes of Southeastern Peru*. *Economic geology*. Vol. 85, p. 1520-1583.
9. Clark A., Chen Y., Grant J., Kontak D., Wasteneys H., Sandeman H., Farrar E., y Archibald D., 2000. Delayed inception of ore deposition in major lithophile-metal vein systems: the San Rafael tin and Pasto Bueno tungsten

- deposits, Peru: 2000, Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 32, no. 7, Reno, Nevada, p. A-279.
10. Cheilletz A., Clark A., Farrar E., Arroyo G., Pichavant M., and Sandeman H., 1992. Volcano-stratigraphy and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Macusani ignimbrite field: monitor of the Miocene geodynamic evolution of the Andes of southeast Peru: *Tectonophysics*, v. 205, p. 307-327.
 11. Corthay G., 2014. The Quenamari prospect, San Rafael tin district, southern Peru: geology, mineral assemblages, fluid inclusion microthermometry, and stable isotopes (with some mineralogical and stable isotope observations at Santo Domingo prospect). Tesis Master Univ. Ginebra, Suiza, 102 p.
 12. Dietrich A. y Wallianos A., 2000. Bulk Rock and Melt Inclusion Geochemistry of Bolivian Tin Porphyry Systems. *Economic Geology* Vol. 95, 2000, pp. 313–326.
 13. Drake, L. y Minaya, E. (1996). The propagation of Love and Rayleigh waves in the Andean Region. *Geofísica Internacional*, Vol. 35, Num. 3, p 273-284.
 14. Ishihara S., 1981. The granitoid series and mineralization. *Economic geology 75th anniv.* Vol, p. 458 – 484.
 15. Jaillard E., Hérail G., Monfret T., Diaz Martinez, E., Baby P., Lavenu A. y Dumont, J. (2000). Tectonic evolution of the Andes of Equator, Peru, Bolivia and northernmost Chile, in: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress in Rio de Janeiro. p. 481– 559.
 16. Kontak D., Clark A. y Farrar E., 1984. The magmatic evolution of the Cordillera Oriental, southeastern Peru, in Harmon, R. S., and Barreiro, B. A., eds., *Andean magmatism: Chemical and isotopic constraints*: Nantwich, Shiva Pub. Ltd., p. 203-219.
 17. Kontak D., 1985. The magmatic and metallogenetic of cratón – orogeny interface: The Cordillera Carabaya, Central Andes, SE Perú. Tesis Ph.D., Kingston, Queen's University, 714 p.
 18. Kontak D, Clark A., Farrard E., Archibald A., 1987. Geochronological data for tertiary granites of the southeast Peru segment of the central Andean tin belt. *Economic Geology*. Vol 82, 1987, p. 1611- 1618.
 19. Kontak D. y Clark A., 1988. Exploration criteria for tin and tungsten mineralization in the Cordillera Oriental of South Eastern Perú: Resent

- advance in the Geology of Granite- related mineral deposits- Proceeding of the CIM Conference on Granite- related mineral deposits, September 1985. The Canadian Institute of mining and metallurgy, Especial Volume 39, Taylor, R.P., and Stronge, D.F., (EDS.), p. 157-169.
20. Kontak, D. y Clark A., 2002. Genesis of the Giant, Bonanza San Rafael Lode Tin Deposit, Peru: Origin and Significance of Pervasive Alteration. *Economic Geology* Vol. 97, p. 1741–1777.
 21. Lehmann B., Ishihara S. Michel H., Miller J., Rapella C., Sanchez A., Tistl M. y Winkelmann L. 1990. The Bolivian Tin Provincial and Regional Tin Distribution in the Central Andes: A Reassessment. *Economic Geology*. Vol 85, 1990, p. 1044 – 1058.
 22. Laubacher G., 1970. La tectónica tardi-hercínica en la cordillera oriental de los andes del Sur del Perú. 14 p.
 23. Laubacher G. 1978. Estudio geológico de la región norte del lago Titicaca. INGEMMET, Boletín 6, 120 p.
 24. López J., 1996. Geología del cuadrángulo de Nuñoa 29-u. INGEMMET. Boletín A 74. Serie A: Carta geológica nacional. Perú, 196 p.
 25. Mamani M., Carlotto V., Santos A., Acosta H., Rodriguez R., Martianera R., Rodriguez J., Navarro J., Cacya L., Alvan A., Cornejo T., Peña D. y Aguilar R., 2009. Resultados de la interpolación regional de las anomalías de Bouguer y su correlación con los dominios geotectónicos del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 103. p. 255-263.
 26. Miskovic A. y Schaltegger U., 2009. Crustal growth along a non-collisional cratonic margin: A Lu-Hf isotopic survey of Eastern Cordilleran granitoids of Perú. *Earth and Planetary Science letters*, 279, p. 313-315.
 27. Minsur S.A., 2015. Informes Técnicos. Reportes no publicados. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 1 de diciembre del 2015. No disponible. Minsur S.A.
 28. Mlynarczyk M. y Williams-Jones A., 2003. San Rafael, Peru: geology and structure of the world's richest tin lode. *Mineralium Deposita* (2003) 38. p. 555–567.
 29. Mlynarczyk M. y Williams-Jones A., 2005. The role of collisional tectonics in the metallogeny of the Central Andean tin belt. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 240, p. 656–667.

30. Mlynarczyk M., Williams-Jones A., 2006. Zoned tourmaline associated with cassiterite: implications for fluid evolution and tin mineralization in the San Rafael Sn-Cu deposit, southeastern Peru, *The Canadian Mineralogist*, vol. 44, p. 347-365.
31. Moran A., 2005. Corani silver-Gold exploration Project Department of Puno, Peru. National instrument 43-101 technical report Bear Creek Mining Corporation, 159 p.
32. Newell N., 1949. Geology of the lake Titicaca Region, Peru and Bolivia. Geological Society of America. 111 p.
33. Ocharán G., 2015. Estudio preliminar de 2 muestras del Proyecto Santo Domingo. Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 1 de diciembre del 2015. No disponible. Minsur S.A.
34. Palma V., 1981. The San Rafael tin-copper deposit, Puno, S-E, Perú. Tesis Mag. Sc. Inglaterra. Queens University. p. 61-63.
35. Prado E., 2015. San Rafael Tin Mine, Peru: Geology, Mineralogy, Stable Isotopes Geochemistry, and Fluid Inclusion Microthermometry of the deep level 3600m. Tesis Master Univ. Ginebra, Suiza, 69 p.
36. Sandeman H., Clark A. y Farrar E., 1997. Lithostratigraphy, petrology and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology of the Crucero Supergroup, Puno Department, SE Perú. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol 10, Nos. 3-4, p 223-245.
37. Vallance J., 2014a. Informe De Estudio Petrográfico Y Minerográfico De 13 Muestras Del Proyecto Santo Domingo. Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 12 de julio del 2015. No disponible. Minsur S.A.
38. Vallance J., 2014b. Informe De Estudio Petrográfico Y Minerográfico De 18 Muestras Del Proyecto Santo Domingo. Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 12 de julio del 2015. No disponible. Minsur S.A.
39. Vallance J., 2014c. Informe de visita técnica a los proyectos Santo Domingo y Taucane. Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 1 de agosto del 2015. No disponible. Minsur S.A.
40. Vallance J., 2015a. Informe De Estudio Petrográfico Y Minerográfico De 03 Láminas Delgadas Y 02 Secciones Pulidas Del Proyecto Santo Domingo.

- Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 1 de agosto del 2015. No disponible. Minsur S.A.
41. Vallance J., 2015b. Informe Del Estudio Petrográfico Y Mineragráfico De 40 Láminas Delgadas Del Proyecto Santo Domingo. Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 1 de setiembre del 2015. No disponible. Minsur S.A.
42. Villón G., 2013. Exploración regional puno (Sn). Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 26 de octubre del 2015. No disponible. Minsur S.A.
43. Yaku Consultores (2014) Declaración de Impacto Ambiental: Proyecto de Exploración Minera Santo Domingo- Minsur S.A. Reporte no publicado. Servidor MINSUR. Lima – Perú. Consultado 26 de octubre del 2015. No disponible. Minsur S.A.
44. Zappettini E., Miranda-Angles V., Rodriguez C., Palacios O., y Cocking R., 2001. Mapa metalogénico de la región fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14°S y 28°S).